

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Porovnání konvenčního a speciálního zařízení
na měření ozubených kol**

***The Compare of Convention and Special Equipment for
Gear Wheel Measurement***

Student:
Vedoucí bakalářské práce:

Velička Martin
Ing. Lenka Očenášová, Ph.D.

Ostrava, 2009

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce, uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 16. 5. 2009

Martin Velička
.....

Martin Velička

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB - TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 11/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 16. 5. 2009

Martin Velička
.....

Velička Martin

Pionýrů 1262, 739 11 Frýdlant nad Ostravicí

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl by jsem na tomto místě vyslovit poděkování vedoucí bakalářské práce Ing. Lence Očenášové, Ph.D., která mi poskytla cenné rady a profesionální pomoc při vypracování bakalářské práce. Zároveň by jsem chtěl poděkovat firmě AVC ČADCA, že mi poskytla měřicí zařízení pro vytvoření experimentální části.

V Ostravě, dne 16.5. 2009

Martin Velická
.....

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VELIČKA, Martin Porovnání konvenčního a speciálního zařízení na měření ozubených kol. Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, 53 stran, 3 přílohy.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lenka Očenášová, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá porovnáním konvenčního a speciálního zařízení na měření ozubených kol. Předložená práce obsahuje literární přehled dosud známých poznatků o ozubených kolech, způsobu jejich hodnocení a měření na konvenčním a speciálním zařízení na ozubené kola.

V první části je zpracované rozdělení ozubených kol, v druhé části je popsán postup měření a způsob vyhodnocení na konvenčním zařízení. Třetí část se zabývá speciálním zařízením na měření ozubených kol a poslední čtvrtá část je experimentální a je v ní prakticky ukázané porovnání výsledku obou zařízení.

ANNOTATION OF BACHELOR'S WORK

VELIČKA, Martin The Compare of Convention and Special Equipment for Gear Wheel Measurement.
Department of Machining and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, 53 pages, 3 supplements.

Bachelor's work, supervisor: Ing. Lenka Očenášová Ph.D.

Bachelor's thesis deals by comparison of conventional and special device for gear wheels measuring. This thesis includes summary of literature all known knowledge about gear wheels, and way of its performance measurement of conventional and special device gear wheels.

In first part, is dividing of gear wheels second part is described by ways of measuring and performance measurement gear wheels in conventional device. The third part is about special device for gear wheels measuring and last part is experimental and contains practical comparing results of these two devices.

OBSAH

OBSAH	1
SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK	3
1. ÚVOD.....	5
2. OZUBENÉ PŘEVODY.....	6
2.1. ROZDĚLENÍ OZUBENÝCH PŘEVODŮ.....	6
2.2. ZÁKLADNÍ POJMY OZUBENÍ	8
2.3. GEOMETRICKÉ PARAMETRY ČELNÍHO NEKORIGOVANÉHO OZUBENÍ S PŘÍMÝMI ZUBY	11
2.4. ODCHYLKY OZUBENÝCH KOL	14
2.4.1. Odchylka čelní rozteče.....	15
2.4.2. Odchylka profilu	16
2.4.3. Házení.....	17
2.4.4. Odchylka boční křivky.....	18
2.5. NORMY TÝKAJÍCÍ SE MĚŘENÍ OZUBENÝCH KOL	19
2.6. MĚŘICÍ METODY	20
2.7. PŘESNOST MĚŘICÍCH ZAŘÍZENÍ A MĚŘENÍ.....	21
2.8. CHYBY MĚŘENÍ	21
2.8.1. Systematické chyby.....	22
2.8.2. Náhodné chyby.....	23
2.8.3. Hrubé chyby.....	24
2.9. NEJISTOTA MĚŘENÍ.....	24
2.10. VLIV NA PŘESNOST MĚŘENÍ.....	25
2.10.1. Vliv prostředí.....	26
2.10.2. Vliv měřeného objektu.....	26
2.10.3. Vliv měřicího zařízení.....	27
3. KONVENČNÍ ZAŘÍZENÍ NA MĚŘENÍ OZUBENÝCH KOL.....	27
3.1. MĚŘENÍ A KONTROLA POLOTOVARU NA OZUBENÍ	27
3.2. MĚŘENÍ OBVODOVÉHO HÁZENÍ OZUBENÍ.....	28
3.2.1. Vyhodnocení výsledku měření.....	29
4. SPECIÁLNÍ ZAŘÍZENÍ NA MĚŘENÍ OZUBENÝCH KOL.....	30
4.1. SOUŘADNICOVÉ MĚŘICÍ STROJE.....	30
4.1.1. Koncepce souřadnicových měřicích strojů	30
4.1.2. Základní prvky mechanického systému	32
4.1.3. Uložení pohyblivých částí SMS.....	33
4.1.4. Snímací systémy SMS.....	34

4.1.5. Metody měření na SMS.....	35
5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	37
5.1. MĚŘENÉ OZUBENÉ KOLO	37
5.1.1. Naměřené parametry ozubeného kola.....	37
5.1.2. Výpočet zbývajících parametru ozubeného kola	38
5.2. MĚŘENÍ OBVODOVÉHO RADIÁLNÍHO HÁZENÍ NA KONVENČNÍM ZAŘÍZENÍ	38
5.2.1. Měření obvodového radiálního házení.....	39
5.3. MĚŘENÍ OBVODOVÉHO RADIÁLNÍHO HÁZENÍ NA SPECIÁLNÍM ZAŘÍZENÍ	44
5.3.1. Měření profilu (evolventy)	45
5.3.2. Měření boční křivky zubů.....	46
5.3.3. Měření obvodového radiálního házení.....	47
6. ZHODNOCENÍ.....	50
7. ZÁVĚR.....	51
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	52
SEZNAM PŘÍLOH	53
PŘÍLOHA	

Seznam použitých značek

Symbol	Význam	jednotka
a	osová vzdálenost převodů	[mm]
b	šířka ozubení	[mm]
c	hlavová vůle	[mm]
c*	jmenovitá hlavová vůle	[mm]
ČSN	Česká státní norma	
d	průměr roztečné kružnice	[mm]
d_a	průměr hlavové kružnice	[mm]
d_f	průměr patní kružnice	[mm]
f_e	excentricity	[μm]
f_{fa}	odchylka tvaru profilu	[μm]
f_{fβ}	odchylka tvaru boční křivky	
f_{Hα}	odchylka úhlu profilu	[μm]
f_{Hβ}	odchylka sklonu boční křivky	[μm]
f_{pk}	součtová odchylka k rozteče	[μm]
F_{pk max}	celková součtová odchylka k rozteče	[μm]
f_{pt}	jednotlivá odchylka rozteče	[μm]
F_r	odchylka obvodového radiálního házení	[μm]
F_{r max}	maximální odchylka obvodového radiálního házení	[μm]
F_{r min}	minimální odchylka obvodového radiálního házení	[μm]
F_α	celková odchylka profilu	[μm]
F_β	celková odchylka boční křivky	[μm]
h_a	výška hlavy zubů	[mm]
h_a*	jmenovitá výška hlavy zubů	[mm]
h_f	výška paty zubů	[mm]
h_f*	jmenovitá výška paty zubů	[mm]
h_k	konstantní výška zubů	[mm]
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci	
j	boční vůle	[mm]
k	koeficient rozšíření	
L_α	úsek profilu	[mm]

L_β	úsek boční křivky	[mm]
M	rozměr přes zuby	[mm]
m	modul	
MPE	největší dovolená chyba SMS	[μm]
n	počet měření	
O	obvod roztečné kružnice	[mm]
p	rozteč	[mm]
Q	měřena veličina	
s_k	konstantní tloušťka zubů	[mm]
SMS	souřadnicový měřicí stroj	
u	standardní nejistota měření	
u_A	standardní nejistota typu A	[μm]
u_B	standardní nejistota typu B	[μm]
u_C	kombinovaná standardní nejistota	[μm]
X	hledaná hodnota měřené veličiny	
x, y, z	souřadnice os	
x_i	jednotlivé naměřené hodnoty vstupní veličiny X	[mm]
${}_nX$	naměřená hodnoty	[mm]
${}_sX$	skutečná hodnota	[mm]
\bar{x}	aritmetický průměr	[mm]
z	počet zubů	
z_{min}	minimální počet zubů	
α	úhel profilu zubů	[°]
δM	tolerance rozměru přes zuby	[μm]
ε	náhodná chyba	[mm]
Δ	systematická chyba	[μm]
ΔM_H	horní mezní odchylka	[μm]
ΔM_D	dolní mezní odchylka	[μm]
ξ	absolutní chyba měření	[mm]
$\frac{\partial f}{\partial X_i}$	parciální derivace funkční závislosti výstupní veličiny podle jednotlivých vstupních veličin, tzv. váhový koeficient	

Ostatní symboly a jejich význam jsou uvedené přímo v textu

1. Úvod

Současný vývoj a výzkum techniky se ubírá velmi rychlým krokem. Na podniky jsou neustále kladené vysoké nároky z hlediska kontroly, kvality výrobku a měřicí techniky, které jsou neoddělitelnou součástí výrobního procesu. Firmy jsou nucené k tomu, aby jednou tak náročnějšímu zákazníkovi byl dodán výrobek, který uspokojuje jeho potřeby. Taktéž jsou kladené podmínky konkurovat dalším firmám, aby výrobek byl dodán v co nejkratším čase, v požadované kvalitě a za nízkou cenu. Splnění těchto požadavků zabezpečí podniku přežití mezi konkurencí. Proto musí výrobce zapojit do oblasti vývoje a výzkumu různé měřicí technologie, které budou mít přínos nejen pro praxi, ale i z ekonomického hlediska. V minulosti byly používány konvenční zařízení na měření, ale v dnešní době jsou nahrazovány speciálními zařízeními, která mají pro praxi specifické rysy, které se do určité míry odlišují od klasických postupů. Výsledkem z konvenčního měření získáme obvykle parametry přímým způsobem.

Bakalářská práce je zaměřená na porovnání měření ozubených kol na konvenčním a speciálním zařízení.

Nároky kladené na kvalitu ozubení jsou náročnější, a proto je této oblasti věnována mnohem větší pozornost. Ozubené kolo, vyrobené s větší přesností, zvyšuje kvalitu a životnost ozubeného soukolí, což jsou v dnešní době priority zákazníka. Z tohoto důvodu jsou v současnosti požadované mnohem větší nároky na kontrolu ozubených kol a vyvíjené nové speciální měřicí centra, které nahrazují konvenční metody měření ozubení.

Podkladem pro vypracování byly experimentálně získané výsledky a teoretické poznatky z dané problematiky.

2. Ozubené převody

Ozubená kola jsou velmi důležité strojní součásti. Jsou to tělesa, která mají na svých pracovních plochách zákonitě uspořádané zuby, jež mohou při záběru přenášet krouticí momenty nebo otáčivé pohyby z hnacího hřídele na druhý hřídel.

Známe-li smysl přenášené síly, označujeme ozubené kolo, od něhož pohyb vychází, jako hnací a druhé kolo, které tento pohyb přejímá, jako hnané kolo. Použije-li se místo jednoho kola ozubeného hřebenu mění se otáčivý pohyb v pohyb přímočarý, nebo naopak.

Kolo a s ním zabírající druhé kolo (protikolo – jedno nebo několik) označujeme též jako pastorek a kolo; jsou-li jejich osy spojeny rámem nebo nosičem satelitů, tvoří soukolí. [6]

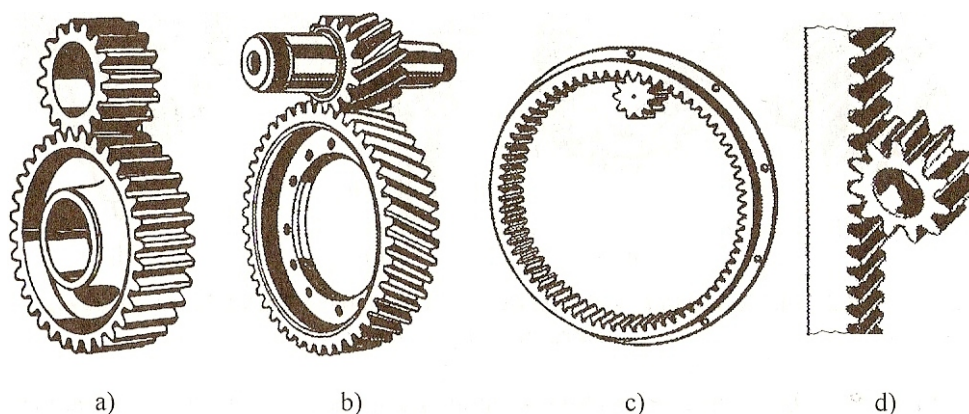
2.1. Rozdělení ozubených převodů

Ozubené převody (soukolí) možno rozdělit podle několika hledisek:

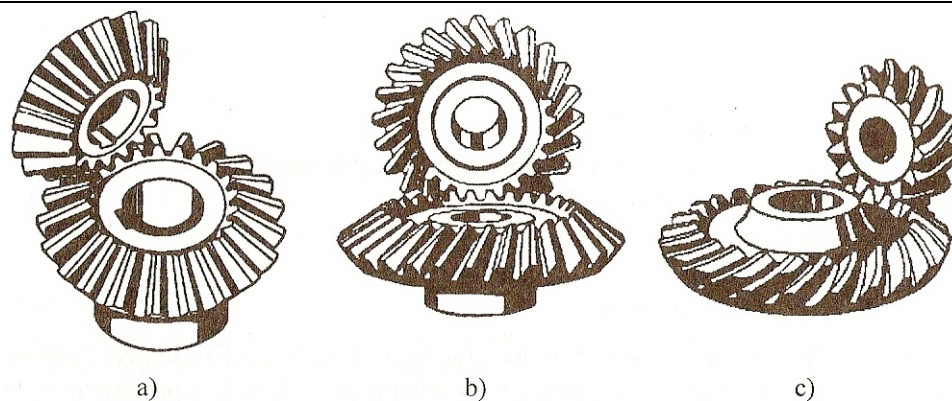
- podle vzájemné polohy os:
 - s rovnoběžnými osami - čelní soukolí (*obr. 1a – d*),
 - s různoběžnými osami - kuželové soukolí (*obr. 2a – c*),
 - s mimoběžnými osami - šroubové soukolí (*obr. 3a*),
 - závitové soukolí (*obr. 3b*),
 - hypoidní soukolí (*obr. 3c*),
 - spirálové soukolí (*obr. 3d*),
- podle polohy ozubení:
 - s vnějším ozubením (*obr. 1a*),
 - s vnitřním ozubením (*obr. 1c*),
- podle druhu křivky profilu zubu s ozubením:
 - evolventní,
 - cykloidní,
 - zvláštní,

- podle tvaru boční křivky zubu se zuby:
 - přímé,
 - šikmé,
 - zakřivené,
 - šípové,
- podle korekcí:
 - normální (bez korekcí, nekorigované),
 - korigované,
- podle konstrukce převodů:
 - jednoduché soukolí s dvojicí ozubených kol
 - soukolí s vloženými koly
 - planetové soukolí

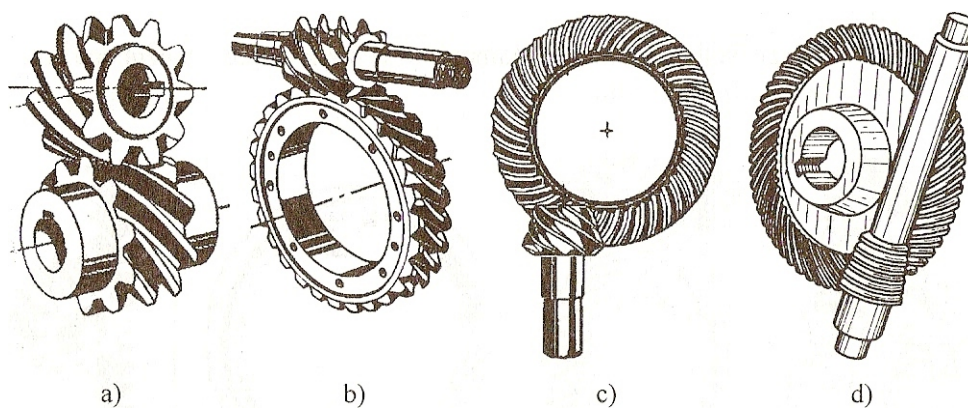
Nejčastější používané soukolí pro rovnoběžné osy hřídelí jsou čelní soukolí s válcovými koly, s vnějším evolventním ozubením s přímými nebo šikmými zuby (*obr. 1a,b*). Relativně lehká a přesná výroba a montáž. [6]



Obr. 1. Čelní soukolí: a) s přímými zuby, b) se šikmými zuby, c) s vnitřními přímými zuby, d) ozubený hřeben – ozubený pastorek [5]

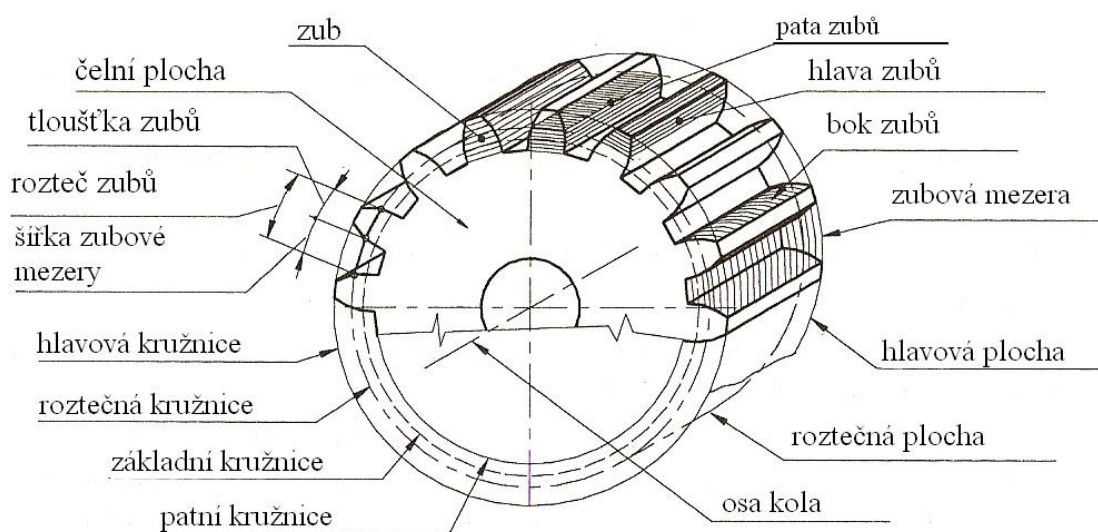


Obr. 2. Kuželové soukolí: a) s přímými zuby, b) se šikmými zuby, c) se zakřivenými zuby[5]



Obr. 3. Soukolí s mimoběžnými osami: a) šroubové, b) závitové, c) hypoidní, d) spirálové[5]

2.2. Základní pojmy ozubení



Obr. 4. Ozubené kolo – základní pojmy [6]

Názvosloví a definice pojmů evolventního ozubení obsahuje ČSN 01 4602-2 *Názvosloví ozubených převodů. Převody s čelními koly* a ČSN 01 4602-3 *Názvosloví ozubených převodů. Převod s kuželovými koly*.

Zub – základní element ozubení, výstupek na ozubeném členu, který zabezpečuje převod pohybu působením výstupku (zubů) druhého ozubeného členu. Skládá se z *paty zubů* a *hlavy zubů*. Zub je ohraničený *hlavovou plochou*, *patní plochou*, dvěma, podle evolventy zakřivení *boky zubů* a dvěma *čelními plochami* ozubeného kola. Zuby jsou v pravidelných roztečích podle *roztečné plochy* ozubeného členu, resp. Po obvodě celého kola.

Těleso – část ozubeného kola, která s ozubením tvoří ozubené kolo.

Souosá plocha – rotační plocha, jejichž osa je totožná s osou ozubeného kola.

Roztečná plocha – základní vztažná plocha ozubení. Je to souosá plocha ozubeného kola, která je základnou na určení prvku zubů, jejich rozměru a rozmístění. Roztečná plocha u čelních ozubených kol je válcová, u kuželových kuželová. Rozděluje zub na hlavu zubu a patu zubu.

Roztečná kružnice – myšlená kružnice, roztečná plocha zobrazena v rovině kolmo na osu rotace.

Hlavová plocha – souosá válcová plocha ohraničující ozubené kolo na protilehlé straně tělesa ozubeného kola, tvoří plochy vrcholů zubů. U vnějšího ozubení ohraničuje ozubené kolo na jeho největším průměru.

Hlavová kružnice – zobrazení hlavové plochy v čelní rovině, kružnice opisuje ozubení přes vrcholy zubu.

Patní plocha – souosá plocha, která odděluje ozubení od tělesa ozubeného kola.

Patní kružnice – zobrazení patní plochy v čelní rovině, kružnice spojující všechny dna zubové mezery.

Hlava zubů – část zubů mezi roztečnou a hlavovou plochou.

Pata zubů – část zubů mezi patní a roztečnou plochou

Zubová mezera – prostor mezi dvěma sousedními zuby jednoho kola ohraničené hlavovou a patní plochou.

Bok zubů – plocha, která ohraničuje zub ze strany zubové mezery. Jeho součástí je pracovní plocha zubů, kterou se zub dotýká zubu spoluzabírajícího kola. Je tvořen evolventní plochou (v čelní rovině evolventou), která vzniká jako obálka polohy tvořící roviny (v čelní rovině přímka) při jejím válení po základní ploše (v čelní rovině základní kružnice). Průsečnice plochy boku zubu a roztečné plochy se nazývá *roztečná boční křivka zubů*.

Základní plocha – souosá plocha, po které se odvaluje tvořící rovina při vytváření evolventní plochy boku zubů. U čelních kol je válcová plocha, u kuželových kuželová.

Základní kružnice – zobrazení základní plochy v čelní rovině. Kružnice, po které se odvaluje tvořící přímka při vytváření evolventy boku zubů.

Čelní plocha ozubení – jedná z ploch ohraničující šířku ozubení.

Profil boku zubů – průsečnice boku zubů s jinou plochou, např. čelní profil odpovídá čelnímu řezu plochou boku zubů.

Tloušťka zubů – vzdálenost mezi nerovnoběžnými profily boku zubů na oblouku soustředné kružnice ozubeného kola, např. *roztečná tloušťka zubu* je délka oblouku na roztečné kružnici mezi dvěma body, ve kterých roztečná kružnice protíná protilehlé profily boku zubů.

Šířka zubové mezery – vzdálenost mezi nejbližšími nerovnoběžnými profily boku sousedních zubů na oblouku soustředné kružnice ozubeného kola, např. *roztečná šířka zubové mezery* je délka oblouku roztečné kružnice mezi dvěma body, ve kterých roztečná kružnice přetíná nejbližší protilehlé profily boku dvou sousedních zubů. [6]

2.3. Geometrické parametry čelního nekorigovaného ozubení s přímými zuby

U čelního nekorigovaného ozubení s přímými zuby se všechny geometrické parametry určují a měří v čelní rovině, resp. v libovolné rovině rovnoběžné s čelní plochou ozubení.

Základní parametry a rozměry ozubení *obr. 5.* se určují následujícími definicemi a vztahy:

Počet zubů – určuje se podle funkce stroje výpočtem převodového poměru. Minimální počet zubů je $z_{\min} = 17$, menší počet zubů je možný jen tehdy, když se pro méně náročné aplikace připustí jisté podřezání zubů, potom $z'_{\min} = 14$, nebo se použije korigované ozubení.

Modul ozubení m (mm) – charakteristické číslo určující velikost profilu zubů, určuje se pevnostními výpočty. Z modulu se určuje většina ostatních rozměrů ozubení. Hodnoty modulu jsou normalizované v ČSN 01 4608 – *Ozubená kola. Moduly*. Normalizované hodnoty modulu jsou odstupňované:

0,1; 0,11; **0,12**; 0,14; **0,15**; 0,18; **0,2**; 0,22; **0,25**; 0,28; **0,3**; 0,35; **0,4**; 0,45; **0,5**; 0,55; **0,6**; 0,7; **0,8**; 0,9; **1**; 1,125; **1,25**; 1,375; **1,5**; 1,75; **2**; 2,25; **2,5**; 2,75; **3**; 3,5; **4**; 4,5; **5**; 5,5; **6**; 7; **8**; 9; **10**; 11; **12**; 14; **16**; 18; **20**; 22; ...,

Přičemž moduly tučně označené jsou přednější.

Rozteč zubů p (mm) – vzdálenost rovnoběžných dvou sousedních zubů měřená na oblouku roztečné kružnice. Rozteč zubů spoluzabírajících kol musí být stejná

$$p_1 = p_2 = p = \pi \cdot m \quad (\text{mm}) \quad (2.1)$$

Poté můžeme vyjádřit obvod roztečné kružnice

$$O = \pi \cdot d = p \cdot z \quad (\text{mm}) \quad (2.2)$$

možno potom napsat pro *průměr roztečných kružnic* vztah

$$d = \frac{p \cdot z}{\pi} = \frac{\pi \cdot m \cdot z}{\pi} = m \cdot z \quad (\text{mm}) \quad (2.3)$$

Výška hlavy zubu závisí na hodnotě modulu ozubení a jednotkové výšce hlavy zubu

$$h_a = h_a^* \cdot m \quad (\text{mm}) \quad (2.4)$$

Jednotková výška hlavy zubů je poměr výšky hlavy zubů a modulu ozubení

$$h_a^* = 1,0 \quad (2.5)$$

Výška paty zubů závisí na hodnotě modulu ozubení a jednotkové výšce paty zubů

$$h_f = h_f^* \cdot m \quad (\text{mm}) \quad (2.6)$$

Jednotková výška paty zubů je poměr výšky paty zubu a modulu ozubení

$$h_f^* = 1,25 \quad (2.7)$$

Průměr hlavové kružnice

$$d_a = d + 2 \cdot h_a = d + 2 \cdot (h_a^* \cdot m) = d + 2 \cdot (1,0 \cdot m) \quad (\text{mm}) \quad (2.8)$$

Průměr patní kružnice

$$d_f = d - 2 \cdot h_f = d - 2 \cdot (h_f^* \cdot m) = d - 2 \cdot (1,25 \cdot m) \quad (\text{mm}) \quad (2.9)$$

Hlavová vůle – vzdálenost mezi hlavovou plochou jednoho ozubeného kola a patní plochou druhého ozubeného kola

$$c = c^* \cdot m \quad [\text{mm}] \quad (\text{mm}) \quad (2.10)$$

Jednotková hlavová vůle – poměr hlavové vůle a hodnota modulu ozubení

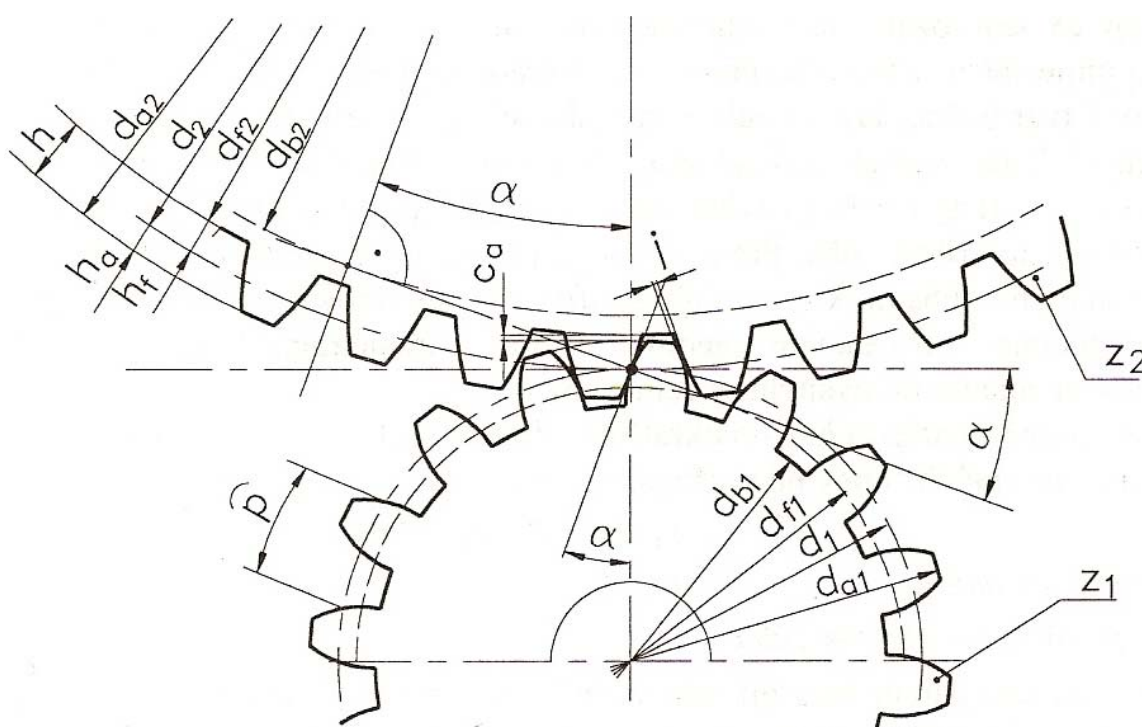
$$c^* = 0,25 \quad (2.11)$$

Úhel profilu zubů (úhel záběru) – ostrý úhel mezi dotykovou plochou profilu zubů v bodě na roztečné kružnici a spojnicí tohoto bodu s osou ozubeného kola. Hodnota úhlu je normalizovaná $\alpha = 20^\circ$.

Boční vůle j – mezera mezi nezátěžujícími boky spoluzabírajících kol, je nutná kvůli výrobním a montážním nepřesnostem a teplotním dilatacím.

Vzdálenost os ozubeného převodu a – nejmenší vzdálenost os kol ozubeného soukolí

$$a = 0,5 \cdot (d_1 + d_2) = 0,5 \cdot (z_1 + z_2) \cdot m \quad (\text{mm}) \quad (2.12)$$



Obr. 5. Základní geometrické parametry ozubeného soukolí [6]

2.4. Odchylky ozubených kol

Ozubené kola patří mezi důležité strojní součástky. Ozubený převod je tvořen sružením dvou ozubených kol, resp. spoluzabírající boků profilu zubů. Kvalita funkcí ozubených kol je dána dodržáním požadovaných kinematických vlastností převodu a kvalitou potřebného styku funkčních ploch zubů k přenosu zatížení. Tím, že ozubený převod netvoří kinematickou dvojici s opačně tvarovanou součástí (jako je tomu např. u hřídele a díry, šroubu a matice), ale jako součástka toho stejného tvaru, přesnost a vzájemná zaměnitelnost patří mezi normované parametry.

Účinnost, plynulost chodů, kinematická přesnost ozubených převodů je zabezpečena požadavky na:

- přesnost a správnost tloušťky zubů,
- přesnost a správnost geometrického tvaru zubu a kvality jeho povrchu,
- minimální radiální a axiální házení,
- přesnost uložení kola na hřídeli

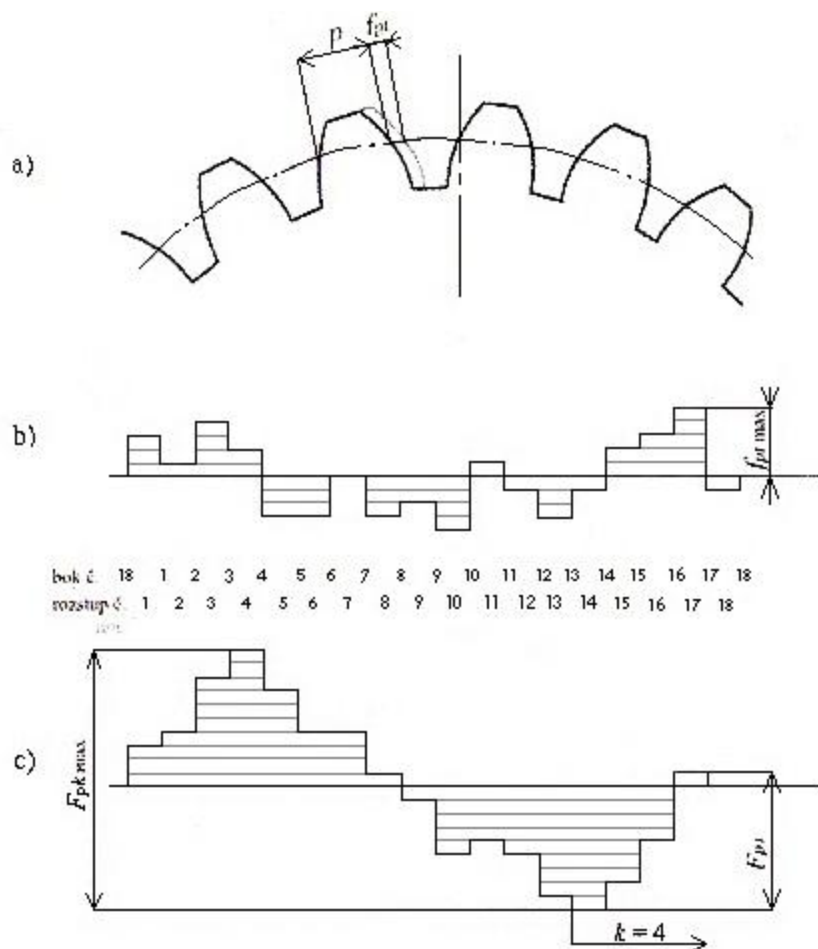
Norma ČSN *ISO 1328-1* (014682) rozlišuje osm stupňů přesnosti ozubených kol, které jsou předpisované v závislosti na použití ozubených soukolí a jeho obvodové rychlosti. Dovolené odchylky se týkají rozměrů, geometrického tvaru zubů a vzájemné polohy prvků soukolí. Lícovací soustava je založena na jednotné vzdálenosti os soukolí pro rozsah modulů $m=(0,3 \text{ až } 12,5) \text{ mm}$, průměry roztečných kružnic do 1600 mm a vzdálenosti os převodu do 1600 mm.

V každém stupni přesnosti je pět skupin bočních vůlí, označovaných písmeny *a* až *e*. Boční vůle je určovaná na základě tepelných poměrů ozubeného soukolí. Ve výkresové dokumentaci se předpisuje lícování číslem stupně přesnosti a písmenem boční vůle např. 3c. [7]

2.4.1. Odchylka čelní rozteče

Norma ISO 1328-1 (Soustava přesnosti ISO 1. část. Definice a dovolené hodnoty odchylek rovnolehlých zubů) definuje tři odchylky čelního rozstupu zubů

- jednotlivou odchylku rozteče – f_{pt} ,
- součtovou odchylku k rozteče – F_{pk} ,
- celkovou součtovou odchylku rozteče – $F_{pk\ max}$



Obr. 6. Odchylky čelní rozteče a) jednotlivá odchylka čelní rozteče, b) sloupcový diagram jednotlivých odchylek čelní rozteče, c) sloupcový diagram součtové odchylky k rozteči. [7]

Součtová odchylka k rozteče F_{pk} v úseku rozsahu k rozteče je matematickým rozdílem mezi skutečnou délkou a teoretickou délkou příslušného oblouku. Je rovná matematickému součtu jednotlivých odchylek rozteče z těch jistých k roztečí.

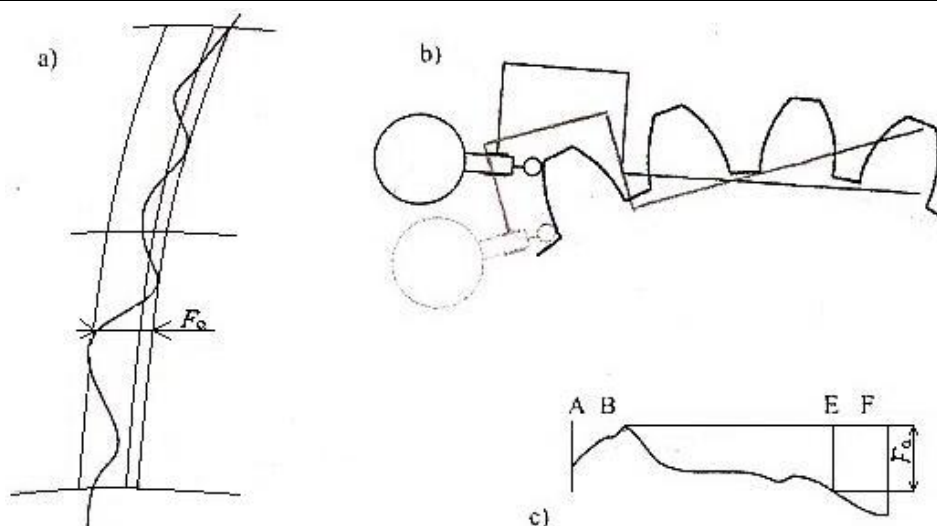
Celková součtová odchylka rozteče kola $F_{pk \max}$ je největší součtovou odchylkou rozteče kola pro libovolné příslušné boky ozubeného kola. Je to rozdíl mezi skutečnou a teoretickou délkou oblouku mezi těmito dvěma příslušnými boky, které s odhadem na ideální kruhové dělení mají největší odchylku či už v kladném nebo záporné smyslu od jejich teoretické polohy. [7] literatura

2.4.2. Odchylka profilu

ČSN ISO 1328-1(014682) definuje odchylky profilu jako kolmé odchylky k profilu zubu v čelní rovině, měřené ve vyhodnocovaném úseku profilu L_a . V grafickém záznamu odchylek se vyhodnocuje:

- Celková odchylka profilu – F_a , obr. 7.
Je to vzdálenost mezi dvěma teoretickými profily, které tvoří obálku ke skutečnému profilu na vyhodnocovaném úseku L_a .
- Odchylka tvaru profilu – f_{fa} .
Je to vzdálenost mezi dvěma rovnoběžnými profily k středovému profilu ohraničující skutečný profil na vyhodnocovaném úseku L_a .
- Odchylka úhlu profilu – f_{Ha} .
Je to vzdálenost mezi dvěma teoretickými profily, které protínají středový profil v koncových bodech vyhodnocovaného úseku L_a . Odchylka úhlu profilu se považuje za kladnou, jako středový profil v teoretickém profilu má vzestupný charakter směrem k hlavě zubu.

Měření odchylek profilu je uskutečňované pomocí přístrojů na měření evolventy. Grafický záznam se získává odvalem dotyku po profilu boku zubu, vždy směrem od paty k hlavě zubu. Princip měření spočívá v porovnávání skutečného (měřeného) profilu s teoretickým profilem. Vyhodnocuje se jako největší vzdálenost mezi obalovaným a skutečným profilem. [7]



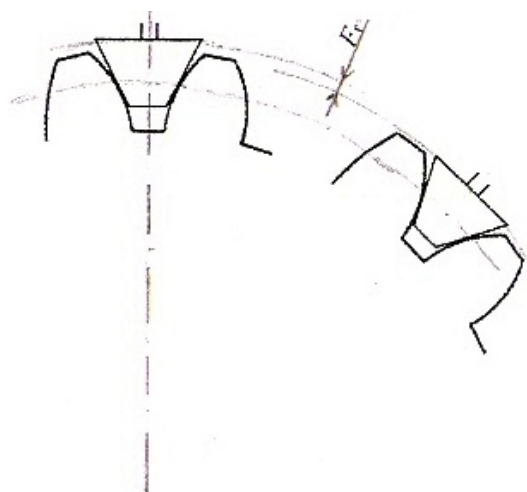
Obr. 7. Celková odchylka profilu

a) definice, b) měření na evolventoměru, c) grafický záznam [7]

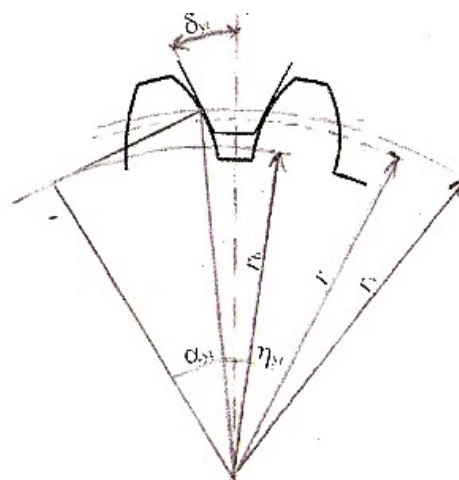
2.4.3. Házení

Definice radiálního házení F_r je na obr. 8. Radiální házení se měří v zubové mezeře a to v blízkosti roztečné kružnice anebo na hlavové kružnici ozubeného kola vhodným snímačem s prizmatickým tvarem dotyku (parametry potřebné pro výpočet úhlu prizmy jsou na obr. 9., kuličkovým anebo válcovým dotykem. Radiální házení má sinusový průběh. Odčítané hodnoty však nezávisí jen od radiálního házení zubové mezery, ale i od odchylek profilu, odchylek boční křivky a radiálního házení měřicího trnu. Velikost radiálního házení je rozdíl mezi maximální a minimální polohou snímače s vhodným dotykem.

Systém radiální souhrnné přesnosti má odlišné rozsahy stupňů, jako jsou v ISO 1328-1. Zahrnuje 9 stupňů přesnosti, přičemž 4. stupeň je nejvyšší přesnost a 12. stupeň je nejnižší. ISO 1328-2 udává závislost dovolených odchylek od valu a boční vůle na průměru roztečné kružnice a normálovém modulu. [7]



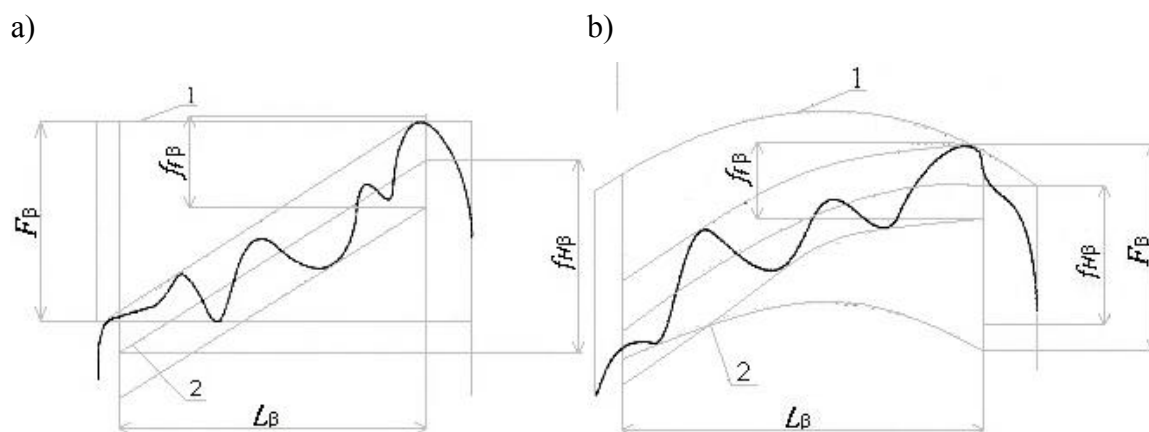
Obr. 8. Schéma měření ozubení [7]



Obr. 9. Parametry prizmatického dotyku [7]

2.4.4. Odchylka boční křivky

Celková odchylka boční křivky F_β na obr.10. je definována jako vzdálenost mezi dvěma vypočítanými bočními křivkami, které tvoří obálku skutečné boční křivky ve vyhodnocovaném rozsahu, jako je tato vzdálenost měřená v příčné rovině a je tangenciální k základnímu válci. Většina moderních přístrojů na měření evolventy dokáže měřit celkovou odchylku boční křivky. [7]



Obr. 10. Celková odchylka boční křivky a její složky

a) nemodifikovaná boční křivka, b) modifikovaná boční křivka

1 – jmenovitá boční křivka, 2 – střední boční křivka

Celková odchylka boční křivky F_β obsahuje dvě složky:

- Odchylku sklonu boční křivky $f_{H\beta}$.

Je to vzdálenost mezi dvěma teoretickými bočními křivkami, která přetíná střední boční křivku v nejkrajnější mezních hodnotách ve vyhodnocovaném úseku boční křivky L_β .

- Odchylku tvaru boční křivky $f_{f\beta}$.

Je to vzdálenost mezi dvěma rovnoběžnými teoretickými bočními křivkami k střední boční křivce, které tvoří obálku ke skutečné boční křivce na vyhodnocovaném úseku boční křivky L_β . [7]

2.5. Normy týkající se měření ozubených kol

Pro ozubená kola platí tyto ISO normy:

- ISO 53:1997 – Čelní ozubená kola. Základní profil.
- ISO 54:1997 – Čelní ozubená kola. Moduly a rozteče.
- ISO 701:1976 – Mezinárodní označování ozubených kol. Značky geometrických veličin.
- ISO 1122-1:1983 – Názvosloví ozubených kol: 1. část. Definice geometrie.
- ISO 1328-1:1995 – Čelní ozubená kol. Soustava přesností ISO. 1. část. Definice a dovolené hodnoty odchylek rovnolehlých boků zubů.
- ISO 1328-2 – Čelní ozubená kola. Soustava přesností ISO. 2. část. Definice a dovolené odchylky odvalu a boční vůle.
- ISO 10063 – Čelní ozubená kola. Boky zubů, vlnitost, drsnost ploch, vzdálenost a rovnoběžnost os, číselné hodnoty. [7]

2.6. Měřicí metody

Měřicí metody je stanovený způsob porovnávání hodnot veličin aplikovaných v procese měření. Měřicí metody je možné rozdělit podle různých hledisek.

Podle způsobů získání výsledků:

Přímá měřicí metoda je metoda, kde výsledek získáme přímo daným měřením. K určení výsledků není potřebný výpočet. V tomto případě význam měření veličiny Q je totožný s naměřenou hodnotou X_n .

$$Q = X_n$$

Přímé měřicí metody jsou založené na měření veličiny podle definici.

Nepřímá měřicí metoda je metoda, při které se hodnota měřené veličiny určuje prostřednictvím výsledků měření několik dílčích veličin, které jsou s měřenou veličinou ve známém funkčním vztahu.

$$X = f(y; u; \dots t),$$

X – hledaná hodnota měřené veličiny Q ,

$Y, z, \dots t$ – hodnoty dílčích veličin získané přímou metodou.

Podle toho či zjišťujeme celkovou hodnotu měřené veličiny, nebo jen rozdíl od zvolené metody:

Absolutní měřicí metoda (metoda s přímým porovnáváním) – hodnota naměřené veličiny se porovnává se známou hodnotou té jisté veličiny přímo.

Komparační metoda – porovnávací metoda, při které se hodnota měření veličiny porovnává s takovou známou hodnotou té jisté veličiny, která se jen málo liší od hodnoty naměřené veličiny, přičemž se určuje jen rozdíl obou porovnávaných hodnot. Komparační metoda umožňuje získat přesnější výsledky měření, tak poznáme skutečnou metodu etalonu a její nepřesnost je velmi malá.

Podle technického vyhodnocení měřidel:

Dotykové – dotykem se dotýkáme skutečného povrchu měřené součástky. Proces kontaktního měření je ovlivňována velikostí tlaku mezi dotykem měřidla a měřeným povrchem součástky.

Bezdotykové – měření se vykonává tak, že se uskutečňuje bez hmotného dotyku měřené veličiny se známou porovnávací veličinou.

V závislosti od vlivu výsledku měření na technologický proces – aktivní a pasivní metoda měření. V závislosti na získaném výsledku – komplexní metoda nebo dílčí metoda měření apod. [2]

2.7. Přesnost měřicích zařízení a měření

Přesnost měřicího přístroje je vlastnost, která charakterizuje schopnost měřicího přístroje dávat údaje totožné se skutečnou hodnotou veličiny. Vyjadřuje kvalitativní stupeň přiblížení skutečných hodnot k hodnotám požadovaným.

Správnost měřidla je vlastnost měřidla, které charakterizuje schopnost měřidla poskytovat údaje, které se rovnají skutečné hodnotě měřené veličiny, systematické chyby se rovnají nule [2]. Abychom zabezpečili správnou činnost měřicího přístroje musíme si vytvořit vhodné podmínky, které ovlivňují měření. Patří sem:

- teplota,
- osvětlení,
- záchvěvy, otřesy,
- prašnost, tlak, vlhkost vzduchu.

Tyto vlivy se zohledňují v nejistotě měření, když se jich nepodařilo eliminovat vhodným uspořádáním měření. Časový průběh měřeného postupu v tomto případě není rozhodující. V zájmu přesnosti a jistoty výsledku měření možno měření podle potřeby několikrát opakovat. Pro některé důležité měření jsou stanovené normální základní podmínky. Měřené veličiny jsou definovány při těchto podmínkách a je potřebné jich dodržovat. [1]

2.8. Chyby měření

Měření je důležitým prostředkem v procesu poznání materiálového světa. Jako každé poznání, i výsledek měření dostáváme prostřednictvím smyslů, které schopností se snažíme znásobit pozitivním přístrojem.

Smysly, přístroje jsou nedokonalé, rovněž prostředí, ve kterém měříme a měřicí metody nám ovlivňuje naměřenou hodnotu. Naměřená hodnota se skutečné hodnotě jen

více, nebo méně přibližuje. Rozdíl mezi naměřenou a skutečnou hodnotou nám určuje vliv podmínek měření a nazývá se **absolutní chybou měření**.

$$\varepsilon = x_n - x_s \quad (\text{mm}) \quad (2.13)$$

ε – absolutní chyba měření,

x_n – naměřená hodnota,

x_s – skutečná hodnota.

Vznik chyby při měření je způsobený skutečnými podmínkami měření.

Celkovou chybu určíme podle vlivu jednotlivých faktorů, které se zúčastňují procesu měření a způsobují to, že mezi naměřenou hodnotou a skutečnou hodnotou vzniká rozdíl - chyba. Hlavní příčiny vzniku chyb jsou:

- měřidlo,
- měřicí metoda,
- prostředí, ve kterém se měření realizuje,
- osoba, která měření uskutečňuje a vyhodnocuje [1].

Cílem měření nesmí být jen naměřená hodnota, ale i určení chyby (nepřesnosti) měření. Celkovou chybu měření můžeme rozdělit na:

- chyby systematické (Δ)
- chyby náhodné (ε)

$$\xi = \Delta + \varepsilon \quad (2.14)$$

2.8.1. Systematické chyby

Systematické chyby se vyskytují při daném způsobu měření sestavy. Pravidelnost jejich výskytu umožňuje zjistit jejich velikost pokusem nebo výpočtem, v některých případech i odhadem a naměřené hodnoty opravit o systematickou chybu. Výsledná systematická chyba se určí jako součet jednotlivých chyb, způsobených jednotlivými systematickými vlivy, které jsou:

1. Osobní systematické chyby zapříčiněné pozorovatelem uskutečňující měření.

Osobní systematické chyby jsou způsobeny:

- nevědomosti,
 - neopatrnosti, nepozornosti, které jsou úměrné charakterovým vlastnostem člověka,
 - nedokonalosti lidských smyslů, využívaných v procese měření.
2. Chyby měřicího přístroje vznikají nedokonalostí přístroje. Způsobují je výrobní tolerance, nepřesnost výroby jednotlivých funkčních elementů, chyby při montáži, nastavování apod. Třeba brát do úvahy i deformaci, tření mezi jednotlivými součástkami přístroje a setrvačnými účinky pohybujících se částí.
3. Chyby metody měření vznikají nedokonalostí a neúplností způsobenou měřením, nevhodnou volbou metody, nesprávnou polohou přístroje vzhledem na měřenou součástku, nesprávnou přitlačnou silou přístroje na měřenou součástku apod.
4. Chyby způsobné vlivem prostředí, ve kterém se měření uskutečňuje [3].

Systematické chyby se snažíme odstranit následujícím způsobem:

- odstranění příčin, které vyvolávají,
- vhodnou kompenzací,
- uplatnění příslušných korekcí,
- kombinací uvedených třech způsobů.

2.8.2. Náhodné chyby

Náhodné chyby jsou způsobené příčinami náhodného charakteru, co do velikosti i směru působení. Náhodné chyby se vyskytují při každém jednotlivém měření a ovlivňují každou naměřenou hodnotu. Opakovaným měřením, za stejných podmínek (osoba, měřidlo, metoda, prostředí apod.) bude z toho důvodu soubor naměřených hodnot vykazovat rozptyl.

2.8.3. Hrubé chyby

Při řadě naměřených hodnot se stává, že některé z naměřených hodnot se zjevně odlišují od ostatních. Hovoříme o nich, že jsou zatížené hrubými chybami.[2]

Hrubé chyby jsou chyby způsobené pozorovatelem, měřidlem, měřicím procesem, měřenou metodou, prostředím, nesprávným zápisem naměřených hodnot, způsobem zpracování naměřených hodnot, nejčastější chybou je na měřicím přístroji apod.

Hrubým chybám je potřebné věnovat zvýšenou pozornost a vylučují naměřené hodnoty nebo výsledek měření zatížených touto chybou ze souboru naměřených hodnot, přesto je nepoužitelný. Hrubou chybu často ani nezařazujeme mezi částkové složky celkové chyby. V měření se nesmí pokračovat, pokud nebude příčina vzniku chyb odstraněna. [3]

2.9. Nejistota měření

Nejistota měření je parametr, který charakterizuje rozsah hodnot okolo výsledku měření a zaručuje s určitou pravděpodobností, že v tomto intervalu bude ležet skutečná hodnota měřené veličiny. V nejistotě měření jsou zahrnuté všechny jednotlivé náhodné chyby a nejistoty určující systematické chyby. Nahrazuje kvalitu na vyšší úroveň chyby měření. [3]

Velikost nejistoty se vyjadřuje jako směrodatná odchylka nebo její násobek. Směrodatná odchylka se v tomto případě označuje jako standardní nejistota a má rovněž rozměr jako měřená veličina. [1]

Nejistota výsledku měření závisí od mnohých faktorů, ze kterých nejvýznamnější jsou druh a hodnota měřené veličiny, použité metody, prostředky a podmínky měření a schopnosti osob vykonávající měření.

Vstupní zdroje nejistoty měření je možné rozdělit do dvou skupin na základě metodiky určování jednotlivých nejistot. Rozlišujeme metodiku hodnocení standardních nejistot typu A a typu B.

Při nezávislých naměřených hodnotách (x_1, x_2, \dots, x_n) je **standardní nejistota typu A** vázaná na aritmetický průměr a určí se výpočtem podle vztahu na výpočet výběrové směrodatné odchylky:

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}} = \frac{S_{(x)}}{\sqrt{n}} \quad (\mu\text{m}) \quad (2.15)$$

Metodika určující **standardní nejistoty typu B** – se skládají z následujících bodů:

- vytipují se možné zdroje těchto nejistot,
- určení standardních nejistot každého zdroje – převzetím z dokumentace tabulek, normy..., odhadem; podle níže uvedených způsobů,
- posouzení závislostí mezi jednotlivými zdroji – určení korelačního koeficientu,
- určení výsledné nejistoty typu B = u_B .

$$u_B = \sqrt{\sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial X_j} \cdot u_{Bj} \right)^2} \quad (\mu\text{m}) \quad (2.16)$$

Kombinovaná standardní nejistota:

Uvedená nejistota měření se stanovuje jako geometrický součet nejistot typu A (u_A) a typu B (u_B). [5]

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (\mu\text{m}) \quad (2.17)$$

Rozšířená standardní nejistota:

Uvedená nejistota měření definuje interval okolo výsledku měření, ve kterém se s určitou pravděpodobností nachází výsledek měření. Stanovuje se jako součinem standardní nejistoty měření u a koeficientu rozšíření k

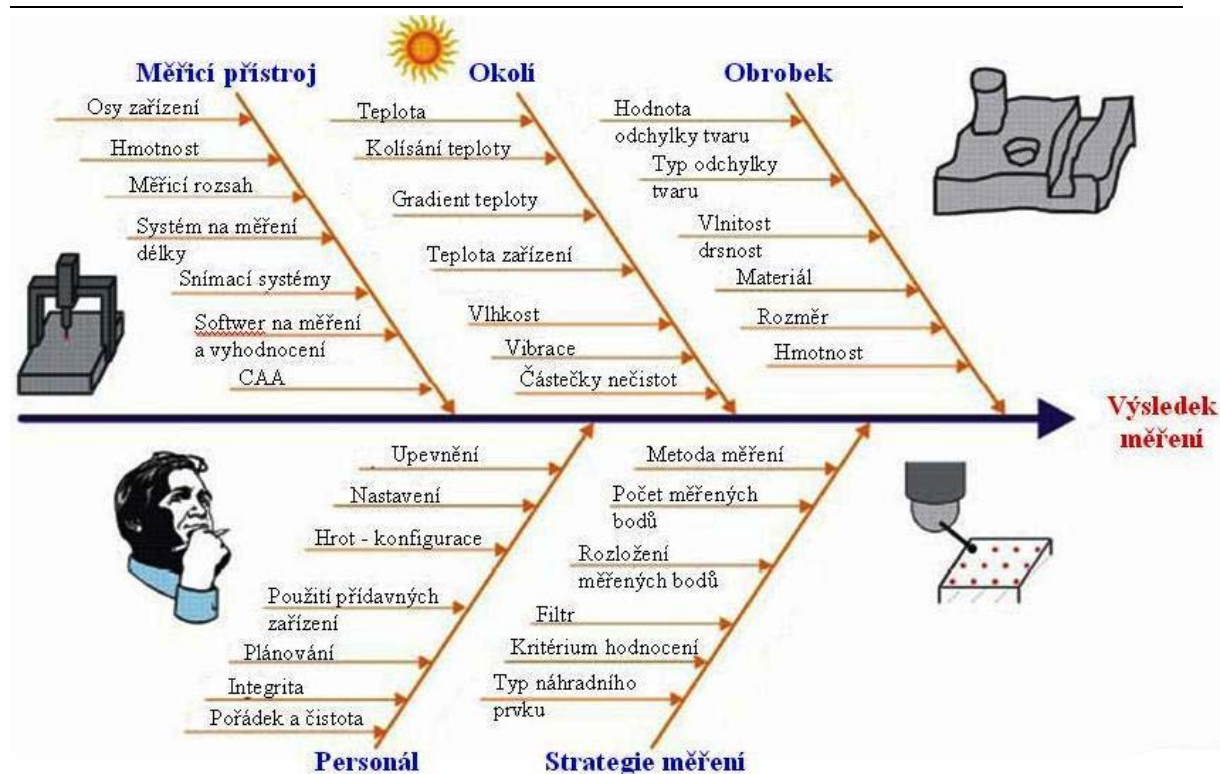
$$U = k \cdot u \quad (2.18)$$

Pro normální rozdělení se koeficient rozšíření k volí z intervalu $\langle 2, 3 \rangle$. Když $k = 2$ úroveň spolehlivosti je 95%, když $k = 3$ úroveň spolehlivosti je 99,7%.

2.10. Vliv na přesnost měření

Vlivy přispívající k nejistotě měření můžeme rozdělit do těchto hlavních skupin znázorněné na *obr. 14.*:

- prostředí měření,
- měřený objekt,
- měřicí zařízení,
- měřicí obsluha, vhodná strategie měření.



Obr. 14. Faktory ovlivňující výsledky měření [4]

2.10.1. Vliv prostředí

Hlavní složkou je vliv teploty a její kolísání – u SMS stanovuje ideální teplotu okolí výrobce, ideální teplota je $20\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$. Dalšími složkami vlivu prostředí jsou prašnost, tlak a vlhkost vzduchů a chvění.

2.10.2. Vliv měřeného objektu

Vliv obrobku se nedá všeobecnět, přestože do značné míry závisí od způsobu obrábění (např. při soustružení ve sklíčidle vykazuje obrobek jiné odchylky tvaru jako při broušení mezi hroty) a od materiálu, ze kterého je vyrobený. [4]

Hlavní vlivy měřeného objektu s ohledem na gravitační sílu a měřené síly sondy jsou:

- charakteristika povrchu,
- tvrdost,
- elastická popřípadě i plastická pružnost.

2.10.3. Vliv měřicího zařízení

Každé měřicí zařízení obsahuje svoje vlastní vnitřní nedokonalosti, které se berou do úvahy při udávání přesnosti konkrétního měřicího zařízení, jakou jsou:

- nepřesnost výroby jednotlivých funkčních elementů,
- nepřesnost montáže převodových systému a mechanismu,
- deformace.

Tyto negativní vlivy se eliminují ověřováním a kalibrací měřicích zařízení. U SMS je podle DIN EN ISO 10360 každá specifikace přesnosti označena jako Maximum Permissible Error (MPE). Uvádí mezní hodnotu, která nesmí být překročena měřicí odchylkou při stanovení měřicí úlohy.

3. Konvenční zařízení na měření ozubených kol

V průmyslu se používají měřicí přístroje, které se dají přímo použít v praxi. Ve výrobě se často kontrolují tvary jednoduchými pomůckami (pravítky, šablony) a měřicími přístroji (číselníkové odchýlkoměry apod.). Konvenční měření se realizuje měřením v tzv. uhlových podložkách, případně jiným podobným uspořádání.

Tyto metody se nazývají relativní, nebo trojbodové. Na jejich základě se dají navrhnout přístroje, které se mohou využít ve výrobě a to i přímo na stroji, po dobu obrábění. V současné době je použití relativních metod omezené, protože dopředu často nepoznáme základní tvarovou odchylku. [9]

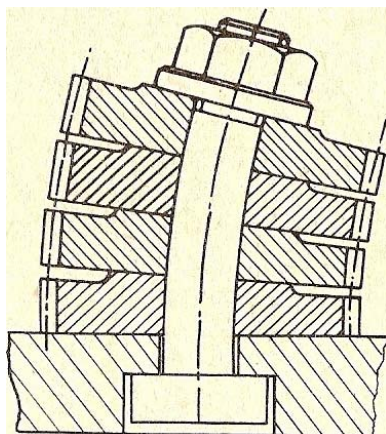
3.1. Měření a kontrola polotovaru na ozubení

Výroba i kontrola ozubených kol jsou poměrně náročné, pracuje se se složitými geometrickými tvary (evolventa, cykloida), proto se na pracovníky, kteří se na ní zúčastňují, kladou vysoké nároky.

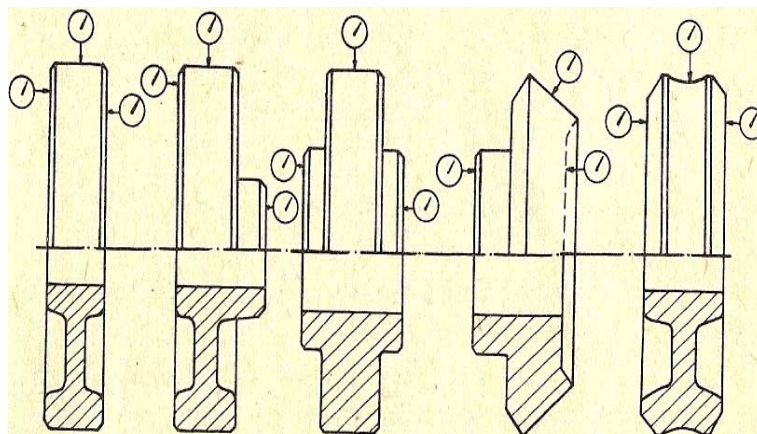
Jak má být chod ozubených kol rovnoměrný a nehluký, musí se věnovat důkladná starostlivost všem složkám, které mají vliv na celkové vyhodnocení ozubení. Přesnost výroby ozubených kol se musí sledovat už od prvních operací. Po soustružení plochy

potřebné na výrobu ozubení, tj. hlavový průměr kola, otvor kola a čelní plochy nesmí házet.

Výrobní tolerance hlavového průměru kola jsou vždy záporné a řadí se podle stupně přesnosti, modulu a velikosti průměru kola. Obě dvě čelní plochy musí být rovnoběžné, aby se přitáhnutím nedeformoval upínací trn (*obr. 15*). Průměr kola musí být centrický, protože při frézování a nebo při obrážení se podle něho kolo centruje. Způsob kontroly kola po soustružení a měření radiálních a axiálních házení je znázorněné na *obr. 16*. [8]



Obr. 15. Příklad na deformaci upínacího trnu vlivem nepřesnosti bočních čel [8]

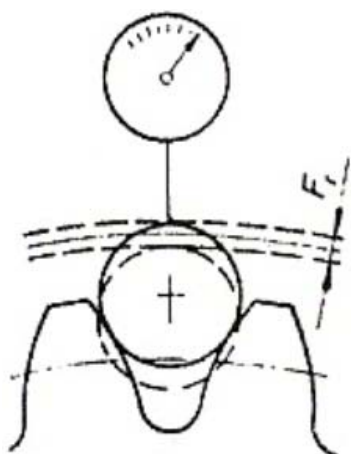


Obr. 16. Místa kontroly házení ozubených kol po soustružení [8]

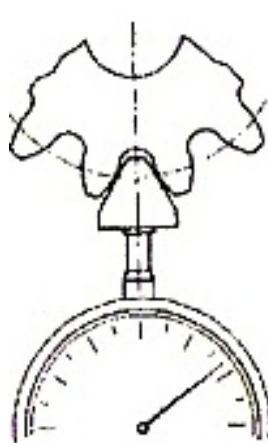
3.2. Měření obvodového házení ozubení

Obvodové házení ozubení F_r je největší naměřená radiální změna polohy měřicího elementu v libovolném čelním řezu (*obr. 17*). Tento element je postupně vkládán do všech zubových mezer měřeného kola, které se otáčí kolem své osy. Naměřená hodnota se tak rovné hloubce ponoru v rovině kolmé na osu kola.

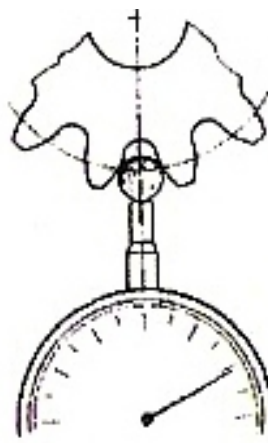
Jako dotykový element slouží zpravidla kulička, ve výjimečných případech váleček nebo měřicí klín (*obr. 18*). Jejich velikost se volí tak, aby dotykové body mezi ozubením a měřicím elementem ležely přibližně uprostřed výšky zubu. Průměr nejčastěji používaného kuličkového dotyku je závislý na mnoha veličinách (z , m , α , β , x) a má pro vnější ozubení hodnoty okolo 2,2 m pro $z < 20$ a okolo 1,8 m pro $z > 20$. Pro vnitřní ozubení je třeba volit průměr kuličky asi o 0,5 m menší. Použitý průměr kuličky má být uveden v protokolu o měření. [11]



Obr. 17. Obvodové házení

 F_r [11]

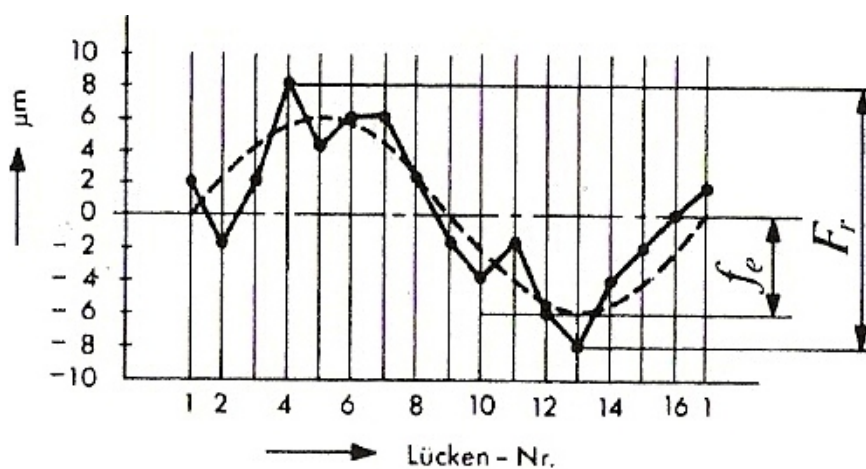
Obr. 18. Princip kontroly obvodového házení ozubení [11]



3.2.1. Vyhodnocení výsledku měření

Obvodové házení ozubení F_r odpovídá rozdílu mezi nejvyšším a nejnižším bodem měření. Skládá se z dvojnásobné hodnoty excentricity f_e ozubení a z účinků odchylek rozteče a boků zubů.

Hodnoty lze vynést rovněž do paprskového diagramu a v něm vyznačit velikost obvodového házení ozubení F_r . Z průběhu křivky diagramu obvodového házení (obr.19.), která je znázorněna pro střed šířky zubu, může být vedle hodnoty F_r získána i další informace. Pokud se křivka diagramu podobá přibližně sinusovce, pak existuje mezi ozubením a osou kola v dané rovině excentricity amplitudy dané sinusovky. [11]



Obr. 19. Diagram obvodového házení pro ozubení se 16 zuby [11]

4. Speciální zařízení na měření ozubených kol

Rychlý rozvoj souřadnicové metrologie i v této oblasti umožňuje kompletní měření všech parametrů ozubení. Vyžaduje se jen přesný SMS a příslušné programové vybavení.

Moderní SMS teda poskytují řešení všech kontrolních úloh na ozubení s malou nejistotou. [13]

4.1. Souřadnicové měřicí stroje

Souřadnicový měřicí stroj (dále jen SMS) je složitý měřicí systém, který realizuje měření v rovině a nebo prostoru v dané souřadnicové soustavě, s možností plné automatizace měření a vyhodnocování.

Široké uplatnění SMS je ve výrobě složitých součástí skříňovitých tvaru, při kterých je kontrola geometrických rozměrů klasickými metodami časově náročné a mnohokrát i málo přesné.

4.1.1. Koncepce souřadnicových měřicích strojů

Prakticky všichni výrobci SMS nabízejí ucelené řady – od malých stolových přístrojů až po největší mostové systémy, které jsou schopné měřit například karosérii automobilu. Koncepce SMS v souladu s jejich velikostí vychází ze čtyřech základních typů

- a) sloupový,
- b) výložníkový,
- c) portálový,
- d) mostový.

Sloupový typ – pro malé rozsahy měření. Má tuhou konstrukci a dobrý přístup k měřenému objektu. Může být vybavený kruhovým stolem s uhlovou stupnicí.

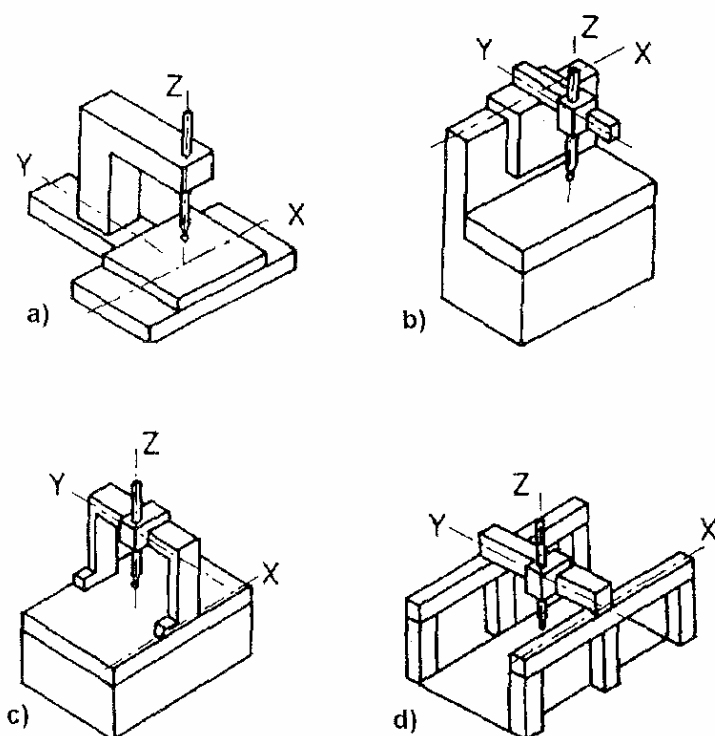
Výložníkový typ – má dobrý přístup k místu měření. Z důvodu tuhosti je os y poměrně krátká, hodí se proto především pro dlouhé úzké součásti.

Portálový typ – patří v praxi k nejrozšířenějším pro střední a velké rozsahy měření. Má velkou tuhost, která umožňuje vysokou přesnost měření. Přístup k objektu měření je omezený konstrukcí.

Vyrábí se v dvou variantách:

- pevný portál (je tužší, vyžaduje pohyblivý stůl),
- pohyblivý portál.

Mostový typ – používá se pro největší rozsahy měření, v ose x je možné modulové skládat až do délky 24 m a více. Použití SMS mostového typu je nejčastější v automobilovém a leteckém průmyslu. [10]



Obr. 23. Typy SMS

a) sloupový, b) výložníkový, c) portálový, d) mostový [9]

Souřadnicový měřicí stroj v širším smysle slova je technicky složitý systém, který se skládá z dílčích navzájem připojených subsystémech:

- mechanická část,
- měřicí systém,
- snímací systém vratného systému pro výměnu snímače,
- řídicí systém,
- softvér.

4.1.2. Základní prvky mechanického systému

K mechanickým prvkům SMS patří podle koncepce *rám, stůl, stojan, portál, most a pinola*.

Rám se skládá nejčastěji ze svařované konstrukce s co největší tuhostí, protože nese ostatní části mechanického systému. V případě mostových typů SMS je rám nahrazený deskou v podlaze.

Stůl tvoří základnu pro osazení a upnutí měřeného objektu buď přímo, a nebo v osazovacím přípravku. K základním požadavkům vlastností tohoto prvku patří:

- vysoká životnost,
- objemová stálost,
- minimální teplotní roztažnost, nemagnetičnost,
- odolnost proti korozi,
- možnost opravy při případném poškození.

U SMS moderních typů jsou stoly nejčastější z přírodního (žula), a nebo umělého kamene (granitu). Při výrobě jsou kladeny vysoké požadavky na rovnost funkčních plochy, možnosti upínání obrobků a přesných vodicích ploch.

Sloupy, portály a mostové konstrukce jsou při jednotlivých typech SMS konstruované většinou jako svařence. Zvláštní důraz je kladený na dostatečnou tuhost a tvarovou i rozměrovou stálost. Portál musí být konstruovaný na minimální průhyb při posunu pinoly v příčném směru. Při moderních SMS se pro konstrukci portálu používá žula a nebo granit.

Pinola je koncipovaná jako vertikální a nebo horizontální, kruhového a nebo čtvercového průřezu. Materiálem je ocel a nebo přírodní kamen. Nevýhodou horizontální polohy je zatížení na ohyb od vlastní hmotnosti i hmotnosti snímací hlavy. Pro kompenzaci deformace vodorovné pinoly slouží vyvažovací zařízení, které minimalizují chyby způsobené různou délkou vysunutí pinoly.

4.1.3. Uložení pohyblivých částí SMS

Požadavky na realizaci pohybů v jednotlivých osách jsou:

- přímočarost,
- vzájemná kolmost,
- stálost,
- minimální vůle,
- minimální pasivní odpory.

Konstrukční řešení vzájemných pohybů jednotlivých částí (stůl, pinola, portál atd.) se většinou dělá následujícími způsoby:

Kluzné uložení – na kovových plochách při SMS malých rozměrech a vyšších tříd přesností.

Nevýhody: velký odpor – jen pro malé rychlosti posuvů, vyžaduje neustále starostlivé ošetřování (mazání).

Výhody: velká tuhost, kvalita vedení se v průběhu používání zvyšuje, čím se zvyšuje i přesnost.

Valivé uložení – vyznačuje se nízkým valivým odporem a značnou odolností proti opotřebení. Nejjednodušší řešení realizují přesné kladky. Dokonalejší jsou tzv. kuličkové hnízda, při kterých se vylučuje vliv mikronerovností. Vyhovují i pro velké zatížení.

Aerostatické uložení – umožňuje vzájemný pohyb jednotlivých částí SMS po vzduchovém polštáři šířky 4 až 8 μm .

Výhody:

- minimální odpory (i při vyšších rychlostech),
- nevzniká trhavý pohyb (známy při kluzném uložení),
- značná tuhost,
- potlačený vliv nepřesností povrchů. [9]

4.1.4. Snímací systémy SMS

Způsob snímání jednotlivých bodů na měřeném objektu ovlivňuje přesnost měření a možnosti automatizace měřicího cyklu.

Snímací systémy dělíme na dvě základní skupiny:

- a) bezdotykové systémy,
- b) dotykové (kontaktní) systémy.

Bezdotykové systémy se u klasických SMS prakticky nepoužívají. Jsou aplikované v automatických měřicích mikroskopech, které pracují v rovině jako dvojosé měřicí systémy. Pro klasické SMS bylo vyvinuté snímání ve formě laserové hlavy, řádkové kamery a speciálních pneumatických spínačů.

Dotykové snímací systémy. SMS starších typů bez motorických pohonů (tzv. ručně řízené stroje) mají *pevné dotyky* v tvaru koule, kužele, válce apod. Řídicí počítač na povel obsluhy zaregistruje v okamžiku dotyku všechny souřadnice, po skončení měření vypočítá požadované geometrické veličiny, jako je průměr kružnice, souřadnice středu, osové vzdálenosti atd.

K nejrozšířenějším patří tzv. *elektrokontaktní snímací systémy*, které se dělí na dvě základní skupiny:

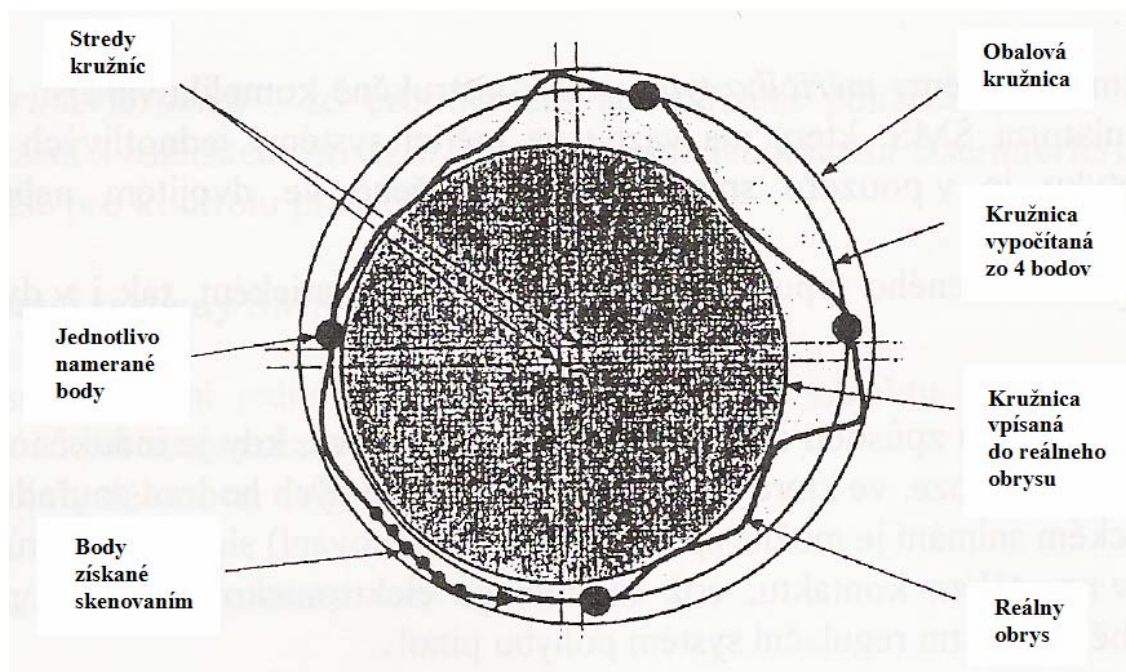
- a) snímací systémy (hlavy) *spínacího typu*,
- b) snímací systémy (hlavy) *měřicího typu*.

Hlava *spínacího typu* funguje tak, že v okamihu dotyku vyšle signál k okamžitému zastavení pohybu, odčítání souřadnic v měřicím systému a současně se ozve zvukový signál. Tyto systémy pracují v dynamickém režimů, pomocí nich se získávají diskrétní hodnoty. Není možné spojitě snímání souřadnic – tzv. scanning (skenování).

Možnosti a výkony SMS jsou při specifikaci přesnosti určovaný především technologií snímání. Pomocí několika snímaných bodů, jako je to praktikované v spínacích systémech, dostáváme neúplnou informaci o tvaru, případné polohy kontrolované plochy.

Při snímání kružnice, která je definovaná geometricky třemi body, se vychází v spínacích systémech ze souřadnic 4 bodů. Vypočítá se souřadnice středu kružnice a její průměr.

Při kontrole této kružnice pomocí skenování získáme celý průběh reálné polohy, která omnoho přesnější odpovídá skutečnosti (*obr. 24*).



Obr. 24. Vyhodnocení reálné kružnice ze 4 bodů a skenováním

4.1.5. Metody měření na SMS

Při měření na SMS jsou potřebné parametry (rozměry, tvarový a polohy) získávají nepřímo z naměřených kartézských a nebo polárních souřadnic v rovině a nebo prostoru. Přesnost hodnoty výsledné veličiny je tedy závislá na řadě vstupních veličin.

Prvním krokem je vždy sestavení plánu průběhu měření. Ten obsahuje tzv. „strategii měření“, v které se přesně formulují předepsané požadavky na přesnost výsledku měření a hledá se optimální postup k jeho dosažení.

Každý operátor SMS musí být dokonale seznámený s možnostmi daného stroje.

Při sestavování průběhu měření musí operátor SMS dodržovat *základní zásady*:

- osazení obrobku stabilním způsobem na největší plochu,
- měření základny by měli korespondovat se základnami konstrukčními,
- v co největší míře provázet slučování měřicích operací,
- usazení obrobku tak, aby se dal proměřit v jedné poloze,

- volba minimálního počtu dotyků,
- volba měřicích bodů tak, aby byl postup co nejkratší,
- snímací body mají být rovnoměrně rozložené na měřeném geometrickém prvku, nejlepší tzv. síťovým způsobem,
- počet snímaných bodů volit o 2 až 3 větší, jako vyžaduje geometrická definice,
- směr pohybu snímače před dotykem by měl souhlasit se směrem některých os,
- kruhové a nebo kulové tvary je třeba snímat párovými dvojicemi – diametrálně,
- při statistické interpretací výsledku měření vyhodnotit minimálně 30 bodů,
- body měřeného geometrického prvku je vhodné znázornit graficky, aby bylo možné vyloučit hrubé chyby,
- vyhodnotit dosaženou nejistotu měření a porovnat ji s požadovanou hodnotou nejistoty. [10]

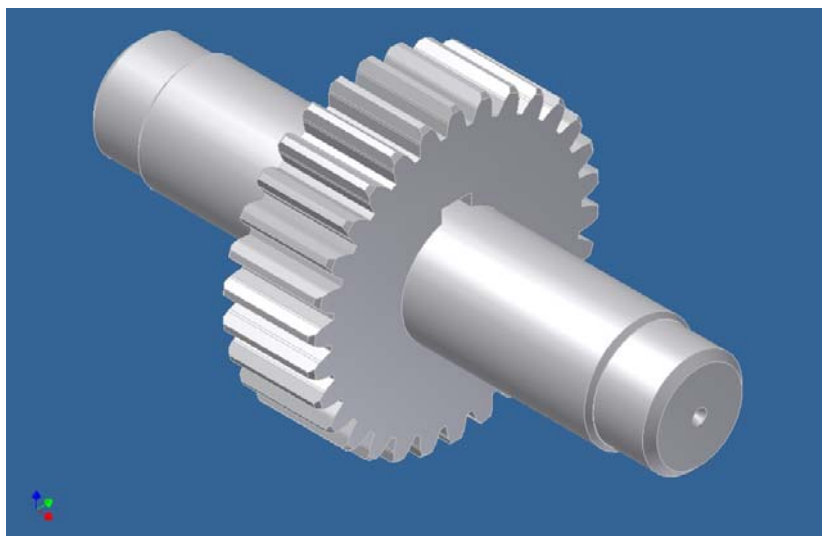
5. Experimentální část

V dnešním dynamicky rychle se rozvíjejícím technickým odvětví jsou kladené vysoké nároky na firmu z hlediska využití měření a měřicí techniky, které jsou neoddělitelnou součástí výrobního procesu. Speciální měření v praxi má svoje specifické rysy, které se o určité míry odlišují od klasických postupů. Zatím co při klasickém měření se získávají parametry přímým způsobem a na základě toho se parametry zpracují. Při měření na speciálním zařízení jsou výsledky zpracované automaticky.

Pro porovnání konvenčního a speciálního zařízení na měření ozubených kol se měřilo na zvoleném ozubeném kole obvodové radiální házení.

5.1. Měření ozubené kolo

Jedná se o čelní ozubené kolo s přímými zuby.



Obr.25. Měřené čelní ozubené kolo s přímými zuby

5.1.1. Naměřené parametry ozubeného kola

Počet zubů	$z = 30$
Průměr hlavové kružnice	$D_a = 80 \text{ mm}$
Šířka ozubení	$b = 25 \text{ mm}$
Úhel záběrů	$\alpha = 20^\circ$

5.1.2. Výpočet zbývajících parametru ozubeného kola

$$\text{Modul: } m = \frac{D_a}{z + 2} = \frac{80 \text{ mm}}{30 + 2} = \underline{\underline{2,5}} \quad (5.1)$$

$$\text{Roztečná kružnice: } D = m \cdot z = 2,5 \cdot 30 = \underline{\underline{75 \text{ mm}}} \quad (5.2)$$

$$\text{Patní kružnice } D_f = D - 2 \cdot (1,25 \cdot m) = 75 \text{ mm} - 2 \cdot (1,25 \cdot 2,5) = \underline{\underline{68,75 \text{ mm}}} \quad (5.3)$$

5.2. Měření obvodového radiálního házení na konvenčním zařízení

Měření na konvenčním zařízení byl použit přístroj na měření ozubených kol AMY 0003.

Přístroj slouží k měření obvodové házivosti ozubených kol s ozubením vnějším a vnitřním i kuželovým; dále pak ke kontrole úhlu sklonu šikmých zubů kola a rovnoběžnost bolů zubů s osou čelních ozubených kol. Dále pak může přístroj sloužit k měření tloušťky zubů.



Obr. 26. Přístroj AMY 0003



Obr. 27. Digitální úchylkoměr



Obr. 28. Sklopná hlavice na měření házivosti



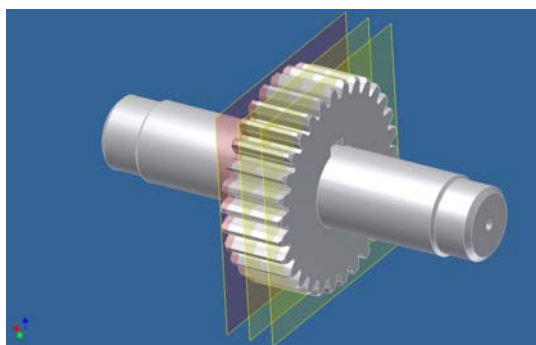
Obr. 29. Dotyk v zubové mezeře

Technické parametry přístroje:

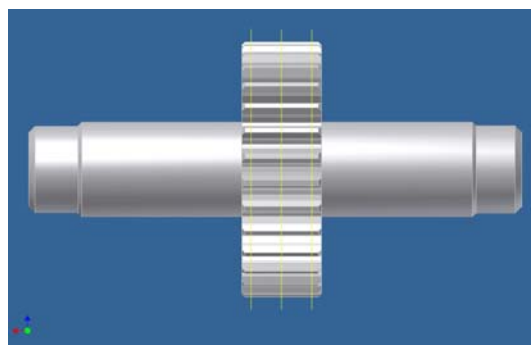
Maximální průměr měřeného kola v hrotech	200 mm
Maximální délka měřených ozubených součástí v hrotech	500 mm
Maximální průměr měřeného kola upnutého letmo (na trnu)	500 mm
Rozsah měřitelných modulů ozubených kol	m 1 ÷ m 8

5.2.1. Měření obvodového radiálního házení

Měření proběhlo ve školní laboratoři na VŠB – TU Ostrava, na katedře obrábění a montáže za teploty 21°C. Měřilo se ve třech rovinách ozubení.



Obr. 30. Znázornění řezu měření



Obr. 30. Znázornění řezu měření

Řez č.1

Tab. 1. Tabulka naměřených hodnot v 1. řezu [mm]

zubová mezera	odchylka	zubová mezera	odchylka	zubová mezera	odchylka
1	0,000	11	0,006	21	-0,020
2	0,003	12	0,006	22	-0,014
3	0,005	13	-0,006	23	-0,014
4	0,008	14	-0,007	24	-0,003
5	0,009	15	-0,002	25	0,002
6	0,001	16	-0,008	26	0,006
7	0,009	17	-0,014	27	0,013
8	0,005	18	-0,027	28	0,019
9	0,016	19	-0,022	29	0,013
10	0,014	20	-0,019	30	0,005



Obr. 31. Diagram obvodového radiálního házení pro ozubení s 30 zuby v 1. řezu

Odchylka označená červenou barvou je maximální a označena modrou barvou je minimální.

Výpočet odchylky obvodového radiálního házení F_{r1}

$$F_{r1} = |F_{r\max}| + |F_{r\min}|$$

$$F_{r1} = |0,019 \text{ mm}| + |0,027 \text{ mm}| = \underline{\underline{0,046 \text{ mm}}} \quad (5.4)$$

Řez č.2

Tab.2. Tabulka naměřených hodnot v 2. řezu [mm]

zubová mezera	odchylka	zubová mezera	odchylka	zubová mezera	odchylka
1	0,000	11	0,005	21	-0,010
2	0,001	12	-0,004	22	-0,009
3	-0,003	13	-0,007	23	-0,003
4	0,002	14	-0,008	24	0,002
5	0,002	15	-0,007	25	0,009
6	-0,009	16	-0,007	26	0,010
7	0,005	17	-0,013	27	0,011
8	0,001	18	-0,012	28	0,006
9	0,014	19	-0,007	29	0,011
10	0,006	20	-0,011	30	0,002



Obr. 32. Diagram obvodového radiálního házení pro ozubení s 30 zuby v 2. řezu

Výpočet odchylky obvodového radiálního házení F_{r2}

$$F_{r2} = |F_{r\max}| + |F_{r\min}|$$

$$F_{r2} = |0,014 \text{ mm}| + |0,013 \text{ mm}| = \underline{\underline{0,027 \text{ mm}}} \quad (5.5)$$

Řez č.3

Tab.3. Tabulka naměřených hodnot v 3. řezu [mm]

zubová mezera	odchylka	zubová mezera	odchylka	zubová mezera	odchylka
1	0,000	11	0,011	21	0,001
2	0,005	12	0,008	22	0,003
3	0,004	13	0,008	23	0,008
4	0,005	14	0,004	24	0,012
5	0,009	15	0,006	25	0,016
6	0,008	16	0,002	26	0,017
7	0,011	17	0,000	27	0,020
8	0,011	18	0,000	28	0,019
9	0,012	19	0,000	29	0,012
10	0,017	20	0,000	30	0,006



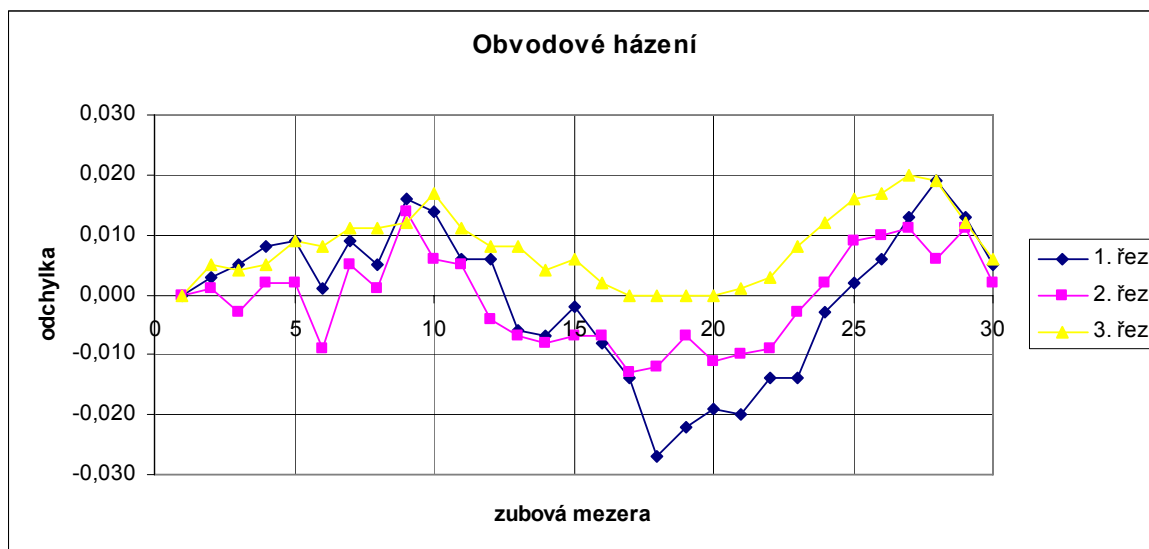
Obr. 33. Diagram obvodového radiálního házení pro ozubení s 30 zuby v 3. řezu

Výpočet odchylky obvodového radiálního házení F_{r3}

$$F_{r3} = |F_{r\max}| + |F_{r\min}|$$

$$F_{r3} = |0,020 \text{ mm}| + |0,000 \text{ mm}| = \underline{\underline{0,020 \text{ mm}}} \quad (5.6)$$

Porovnání všech odchylek obvodového radiálního házení v jednom grafu



Obr. 34. Diagram obvodového radiálního házení pro ozubení s 30 zuby ve všech řezech

Na *obr. 34.* jsou znázorněny všechny tři digramy naměřených odchylek obvodového radiálního házení na konvenčním zařízení. Na *obr. 34* jde vidět že všechny tři diagramy mají podobný sinusový průběh.

5.3. Měření obvodového radiálního házení na speciálním zařízení

Měření se uskutečnilo na Slovensku ve firmě AVC ČADCA. Za podmínek prostředí:

- teplota prostředí 21°C,
- vlhkost vzduchu 40 – 60 %,
- osvětlení min. 700 lux..

Měření proběhlo na měřicím centru HÖFLER EMZ 402. Je to měřicí centrum na měření čelních, kuželových ozubených kol, měření hřídelí a různých nástrojů na ozubení (odvalovací frézy, obrazecí kola, ševingovací kola). Měřicí centrum má možnost měření kontaktní a také pomocí skenování, kde je dostatečně sejmuta plocha měřené součásti. Měřicí centrum pracuje na principu SMS.

Technické parametry přístroje:

Rozsah modulu $0,5 \div 20$.

Maximální průměr 400 mm.

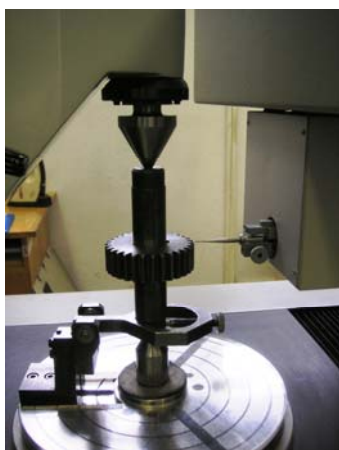
Měření a vyhodnocování na měřicím centru se provádí plnoautomaticky s přesností 0,0001 mm.



Obr. 35. Měřicí centrum HÖFLER EMZ 402

Na měřicím centru HÖFLER EMZ 402 se změřilo:

- měření profilu ozubení (evolventy),
- měření boční křivky ozubení,
- obvodové radiální házení ozubeného kola.



Obr. 36. Snímání hodnot



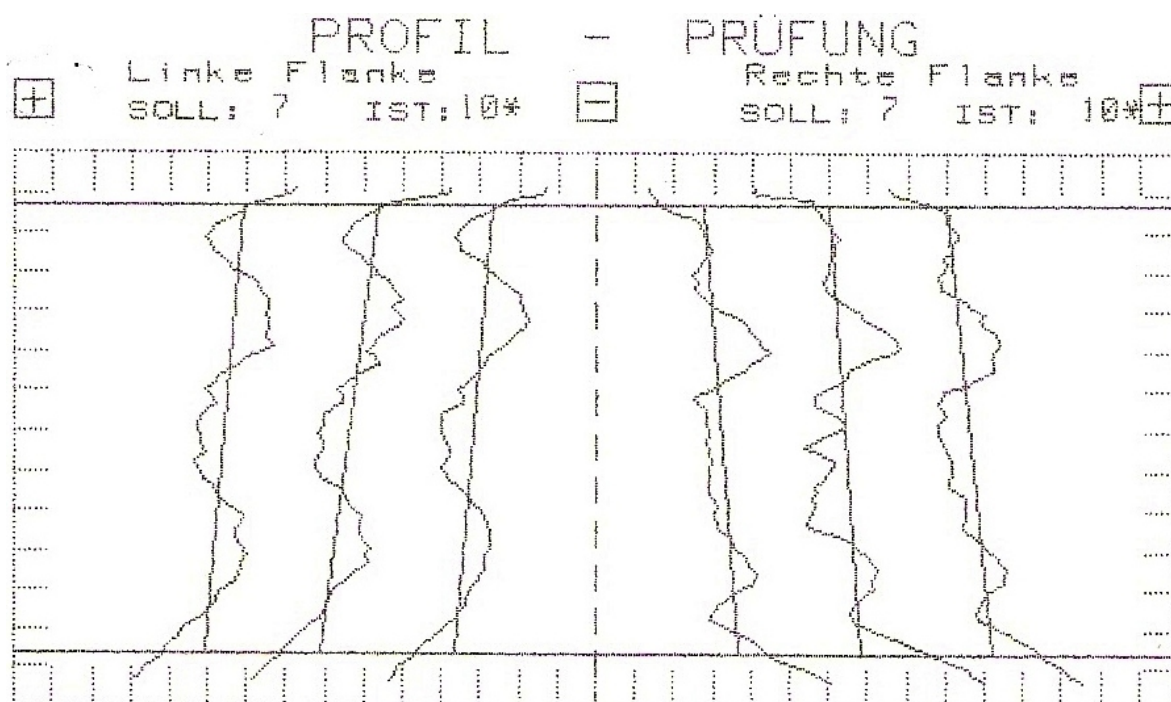
Obr. 37. Měřená součást



Obr. 38. Měřená součást

5.3.1. Měření profilu (evolventy)

Při měření profilu (evolventy) ozubení byly měřicím centrem HÖFLER EMZ 402 změřeny odchylky. Celková odchylka profilu - F_a , odchylka tvaru profilu f_{fa} a odchylka úhlu profilu $f_{H\alpha}$. Měřilo se vždy z pravé strany a levé strany zubu a to ne na všech ale na 1., 11. a 21. zubě. Na obr. 39. je grafický záznam měřené odchylky profilu. Protokol z měření je v příloze č. 1.



Obr. 39. Grafický záznam měřené odchylky profilu

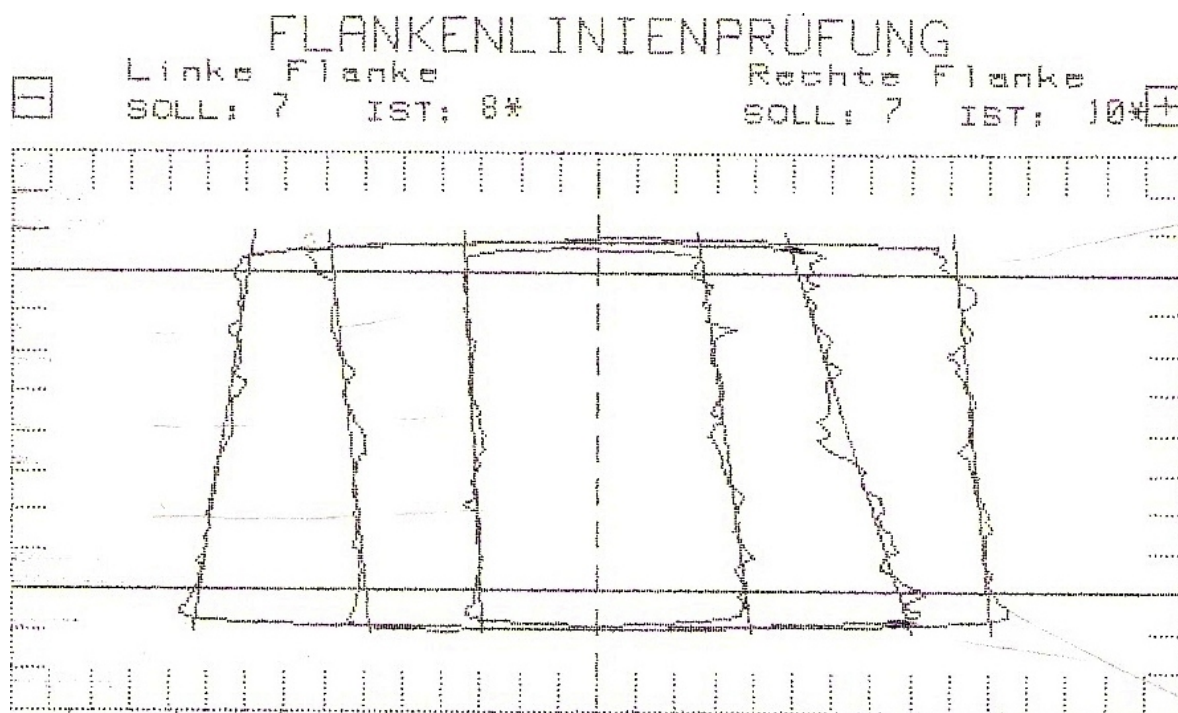
Tab.4. Tabulka naměřených odchylek profilu

	Levá strana zubu [μm]	Stupeň přesnosti dle normy DIN 3962	Pravá strana zubu [μm]	Stupeň přesnosti dle normy DIN 3962
Celková odchylka profilu F_α	29,8	10	29,7	10
Odchylka tvaru profilu f_{fa}	21,3	10	25,2	10
Odchylka úhlu profilu f_{Ha}	-11,7	9	-9,7	9

V tab. 4. jsou zpracovány naměřené odchylky profilu ozubení. Z naměřených hodnot vyplývá, že měřený profil byl zařazen dle normy DIN do 10 stupně přesností.

5.3.2. Měření boční křivky zubů

Při měření sklonů zubů ozubení byly měřicím centrem HÖFLER EMZ 402 změřeny odchylky. Celková odchylka boční křivky F_β , odchylka sklonu boční křivky $f_{H\beta}$, odchylka tvaru boční křivky $f_{f\beta}$. Měřilo se vždy z pravé strany a levé strany zubu a to ne na všech ale na 1., 11. a 21. zubě. Na obr.40. je grafický záznam měřené odchylky sklonu boční křivky zubů. Protokol z měření je v příloze č. 1.



Obr. 40. Grafický záznam měřené odchylky sklonu boční křivky zubů

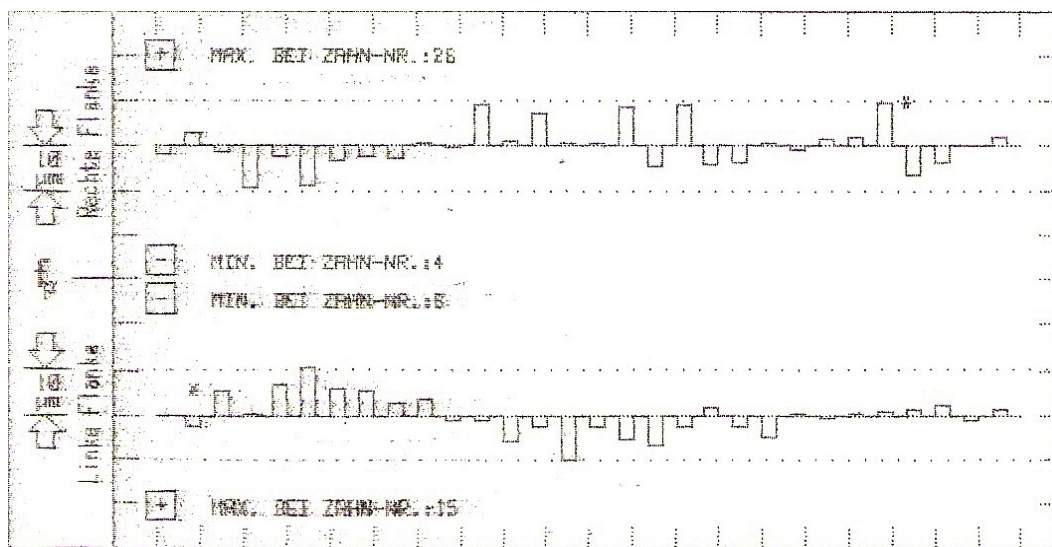
Tab.5. Tabulka naměřených odchylek boční křivky

	Levá strana zubu [μm]	Stupeň přesnosti dle normy DIN 3962	Pravá strana zubu [μm]	Stupeň přesnosti dle normy DIN 3962
Celková odchylka boční křivky F_B	13,0	8	22,1	9
Odchylka skonu boční křivky f_{fB}	8,8	8	12,3	10
Odchylka tvaru boční křivky f_{HB}	0,0	8	-18,9	10

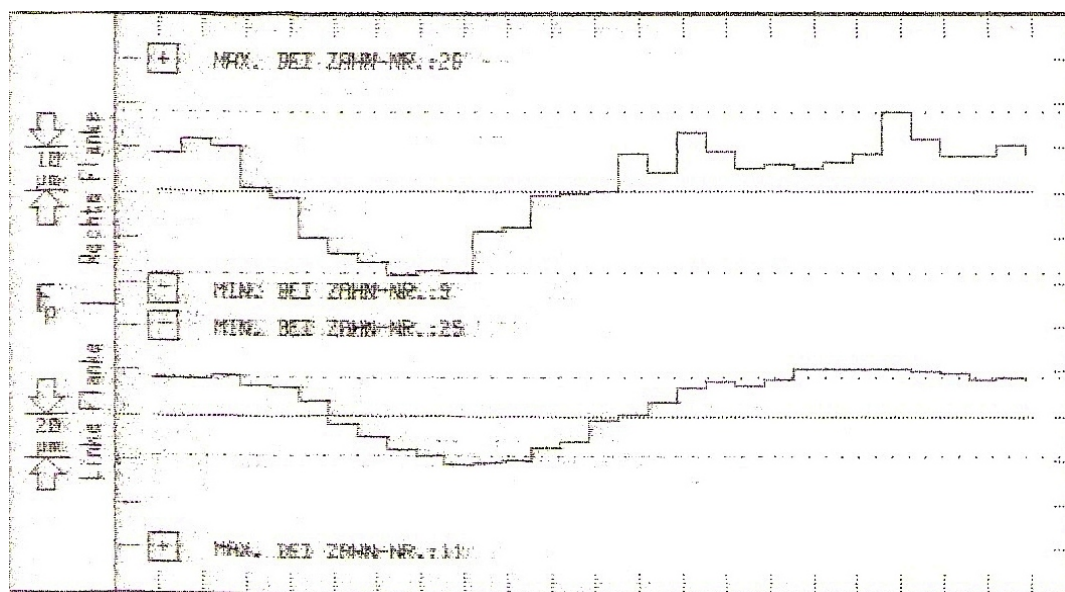
V tab. 5. jsou zpracovány naměřené odchylky boční křivky zubů. Z naměřených hodnot vyplývá, že měřena boční křivka zubů byla zařazena dle normy DIN do 8 až 10 stupně přesností.

5.3.3. Měření obvodového radiálního házení

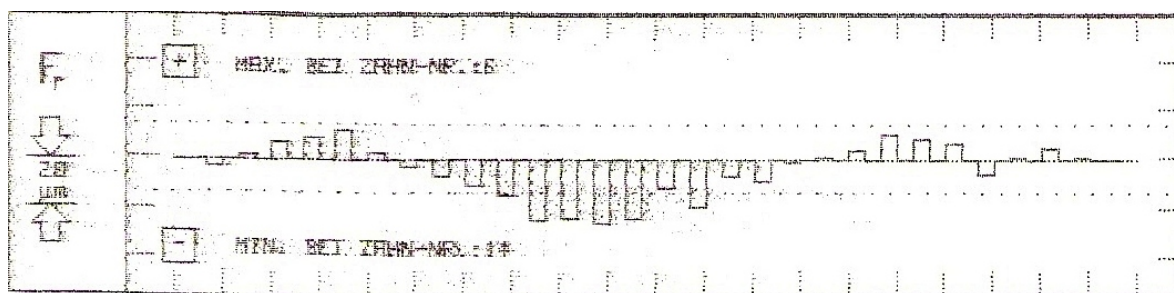
Při měření obvodového radiálního házení ozubení byly měřicím centrem HÖFLER EMZ 402 změřeny odchylky. Jednotlivá odchylka rozteče f_p obr. 41., součtová odchylka rozteče F_p obr. 42, a odchylka obvodového házení F_r obr.43.. Měření proběhlo z levé a pravé strany zubů. Protokol z měření je v příloze č. 1.



Obr. 41. Grafický záznam měřené jednotkové odchylky rozteče



Obr. 42. Grafický záznam měřené součtové odchylky rozteče



Obr. 43. Grafický záznam měřené odchylky obvodového házení

Tab.6. Tabulka naměřených odchylek obvodového radiálního házení

	Levá strana zubu			
	Zadaný stupeň přesnosti	Odchylka ve stupni přesnosti DIN 3962 [μm]	Naměřená odchylka [μm]	Skutečný stupeň přesnosti dle DIN 3962
Jednotlivá odchylka rozteče f_p	7	10	11	8
Součtová odchylka rozteče F_p	7	36	43	8
	Pravá strana zubu			
	Zadaný stupeň přesnosti	Odchylka ve stupni přesnosti DIN 3962	Naměřená odchylka	Skutečný stupeň přesnosti dle DIN 3962
Jednotlivá odchylka rozteče f_p	7	10	10	7
Součtová odchylka rozteče F_p	7	36	36	7
Obvodová házivost F_r	7	28	37	8

V *tab . 6.* jsou zpracovaný naměřené odchylky roztečí a obvodového házení ozubení. Podle zadaného stupně přesnosti 7 dle normy DIN byly naměřené odchylky zařazené do 7 a 8 stupně přesnosti.



Obr. 44. Vykreslování diagramu

6. Zhodnocení

Tab.7. Tabulka porovnání naměřených odchylek obvodového házení

Měřicí zařízení	Konvenční zařízení			Speciální zařízení
Obvodové házení	1. řez	2. řez	3. řez	
	0,046	0,027	0,020	0,037
Zařazení do stupně přesností dle normy DIN 3962	9	7	6	8

Byly naměřené odchylky obvodového radiálního házení na konvenčním přístroji AMY 0003 a na speciálním měřicím centru HÖFLER EMZ 402. Naměřené odchylky jsou zpracovány v tab. 7.

Odchylky obvodového radiálního házení v určitých řezech byly naměřeny $F_{r1} = 0,046 \text{ mm}$; $F_{r2} = 0,027 \text{ mm}$; $F_{r3} = 0,020 \text{ mm}$. Dle normy DIN 3962 odpovídají odchylky v určitých řezech následujícímu stupni přesnosti F_{r1} 9 stupeň, F_{r2} 7 stupeň, F_{r3} 6 stupeň přesností.

Odchylka obvodového radiálního házení byla naměřená na měřicím centru HÖFLER EMZ 402. Odchylka $F_r = 0,037 \text{ mm}$ odpovídá dle normy DIN 3962 do 8. stupně přesností.

7. Závěr

Rostoucí požadavky na kvalitu výrobku zvyšují nároky na kvalitu metrologických činností, proto je potřebné zavádět do oblasti výzkumu a vývoje nové, vylepšené měřicí technologie. Mezi pokroky v oblasti strojírenské technologie patří i používání speciálních měřicích strojů.

Bakalářská práce je zaměřena na porovnání konvenčního a speciálního zařízení na měření ozubených kol.

Na konvenčním zařízení byla naměřena odchylka obvodového radiálního házení na přístroji AMY 0003 v laboratoři VŠB – TU Ostrava, na katedře obrábění a montáže. Výsledky jsou zpracované v tabulkách a grafech. Důvod proč odchylka v prvním řezu je odlišná od ostatních dvou, je protože měřené ozubené kolo je opotřeбенé.

Měření na speciálním zařízení na měření ozubených kol byla provedená na Slovensku ve firmě AVC ČADCA na měřicím centru HÖFLER EMZ 402. Ve firmě byl změřený profil ozubení, sklon boční křivky ozubení a obvodové radiální házení. Výsledky měření jsou zpracované formou měřicích protokolů, které jsou v příloze č. 1, kde výsledky byly zpracované speciálním softwarem od firmy Höfler, tento software vyvíjí pro firmu Höfler firma Modul.

Vzájemným porovnáním zařízení na měření ozubených kol jsem dospěl k závěru, že měření na speciálním zařízení je přesné a výhodnější z hlediska technologického i ekonomického, hlavně při opakovaném měření ozubených kol. Má široké využití v oblasti metrologických činností. Měřidla, které byly použity na měření byly kalibrované. Kalibrační listy digitálního posuvného měřidla a digitálního úchylkoměru jsou přiloženy v příloze č. 2.

Seznam použité literatury

- [1] KREMPA M., *Metrológia v strojárstve, Zborník prednášok: Obrábanie – výborná technika 2000*, Súľov , 2000
- [2] OBMAŠČÍK M., SLIMÁK S., MADUNA M.: *Riadenie akosti a metrológií*. Bratislava: ALFA Bratislava, 1987, 247 s. 63-738-87.
- [3] OBMAŠČÍK M., *Metrológia chýb a neistôt meradiel dĺžok*, MASM Žilina, 1998
- [4] DURAKBASA M., AFJEHI-SADAT A., OSANNA P., Neistoty merania, dostupný na internete
<http://www.kam.sjf.stuba.sk/KATEDRA/publikacie/leonardo/ucebnica/27s.pdf>
- [5] RŮŽIČKA V. *Kontrola ozubených kol s úvodem do geometrického výpočtu ozubení*. Praha: SNTL Praha, 1957, 408 s.
- [6] MEDVECKÝ Š., ČILLÍK L., BARYSZ I., ŽARNAY M., HRČEKOVÁ A., BRONČEK J., KUČERA L., *Základy konštruovania*. Žilina: EDIS Žilina, 1999, 599 s., ISBN 80-7100-547-9.
- [7] DOVICA M., a kol., *Metrolódia v strojárstve*, Košice: EMILENA, 2006, 351 s., ISBN 80-8073-407-0.
- [8] VYSLOŽIL Z., KOVAL J. *Technologické a strojnické urania*. Bratislava: ALFA Bratislava, 1978, 260 s. 63-309-78.
- [9] OČENAŠOVÁ L., *Príspevok k hodnoteniu odchýlky kruhovitosti pri meraní na súradnicovom metacím stojí*; Dizertačná práca, Žilina, 2008, SK
- [10] PERNIKÁŘ J., TYKAL M., VAČKÁŘ J.: *Jakost a metrologie*, Část metrologie, CERM Brno, 2004
- [11] MAAG-TASCHENBUCH, 2te erweiterte und ergänzte Aufgabe, Berechnung und Herstellung von Verzahnungen in Theorie und Praxis, Maag-zahnräder aktiengesellschaft, Zürich, 1985, 727 s., Schweiz

Internetové odkazy:

- [12] http://www.umz.fme.vutbr.cz/Metodiky_%20mereni%5COzubena_kola.htm
- [13] <http://www.kam.sjf.stuba.sk/katedra/publikacie/leonardo/ucebnica/14s.pdf>

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1:** Protokol z měření profilu, boční křivky a radiálního obvodového házení na měřicím centru HÖFLER EMZ 402.
- Příloha 2:** Kalibrační listy digitálního úchylkoměru (12.50/0,001) mm, kalibrační list posuvného digitálního měřidla 150 mm
- Příloha 3:** Výkres ozubeného kola.